Н. В. ВИНОГРАДОВ

# ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ТРУДРЕЗЕРВИЗДАТ
1952

Настоящий учебник содержит описание основных элементов электрических машин и технологии изготовления обмоток. Он составлен в соответствии с учебной программой по специальной технологии для подготовки обмотчиков электрических машин в учебных заведениях системы трудовых резервов.

Значительное внимание в учебнике уделено вопросам новой техники, передовой технологии и повышения производительности труда.

Учебник предназначен для учащихся ремесленных училищ, а также может быть использован для индивидуально-бригадного обучения в учебной сети промышленных предприятий.

Отзывы и замечания по книге просим присылать по адресу: *Москва, Центр, Хохловский пер., 7, Трудрезервиздат.*

# ВВЕДЕНИЕ

Шестым пятилетним планом развития народного хозяйства СССР предусмотрен значительный рост производства электроэнергии. В 1960 г. будет выработано электроэнергии 320 млрд. *квт-ч,* общая мощность тепловых станций возрастет за пятилетие в 2,2 раза, а гидроэлектростанций — в 2,7 раза.

Увеличение мощности электростанций и выработки энергии связано с соответствующим ростом выпуска электродвигателей, трансформаторов и электрической аппаратуры.

Одновременно с развитием энергетики происходит огромный рост советского электромашиностроения. До Великой Октябрьской социалистической революции электротехническая промышленность России находилась в зачаточном состоянии. В 1913 г. продукция электропромышленности России составляла только 2,5% мирового электротехнического производства. Дореволюционные электротехнические заводы по существу являлись сборочными мастерскими, принадлежащими иностранным фирмам, в которых собирались несложные электрические машины из частей и материалов, ввозимых из-за границы. За годы пятилеток выпуск продукции возрос в сотни раз. Построены первоклассные заводы, оснащенные современной техникой. Уже во второй пятилетке СССР освободился от импортной зависимости в области электромашиностроения.

В шестой пятилетке перед электромашиностроительной промышленностью поставлены большие задачи. Они заключаются в увеличении мощности генераторов для электростанций до 200—300 тыс. *квт* в одном агрегате, освоении новых электроизоляционных материалов, повышении производительности труда, культуры производства и качества выпускаемой продукции, разработке новых серий электродвигателей для промышленного электропривода и т. п.

Всякая электрическая машина имеет обмотки, по которым протекает электрический ток. Обмотка является одной из наиболее важных частей электрической машины. Изготовление и ремонт обмоток электрических машин относятся к области работ обмотчика. Чтобы изготовлять сложные обмотки, которые применяются в современных электрических машинах, надо не только

уметь выполнять те или иные производственные операции, но и иметь необходимые знания в области теории обмоток, их схем, изоляции и назначения. Отсюда ясно, какое важное значение имеет профессия обмотчика в электромашиностроении.

Трудоемкость обмоточных работ в электрических машинах очень велика. Она составляет от 25 до 40% общей трудоемкости изготовления электрических машин. Например, чтобы изготовить обмотку статора гидрогенератора мощностью 57 тыс. *квт* при 62,5 об/мин, надо переработать 17 *т* обмоточной меди и 4 *т* различных слюдяных изоляционных материалов, намотать свыше 330 *км* хлопчатобумажных и асбестовых лент, напаять 110 *кг* припоя. Поэтому механизации обмоточно-изоляционных работ придается большое значение. Рационализаторы и передовики производства добились значительных успехов в этом направлении. Внедрив ряд мероприятий по механизации обмоточных работ, завод «Электросила» им. Кирова утроил выпуск высоковольтных обмоток на тех же производственных площадях. Много нового внесено и в процессы укладки обмоток в пазы. Все дальше распространяется разделение труда в обмоточном производстве; наряду с обмотчиками-универсалами появляются обмотчики-паяльщики, обмотчики-бандажировщики, обмотчики-изолировщики и др. Совершенствуются приемы труда, создаются новые виды станков и инструментов. Успешно развивается социалистическое соревнование за повышение производительности труда, улучшение качества продукции, экономию дорогих и дефицитных материалов и снижение себестоимости продукции.

Успешная подготовка в учебных заведениях трудовых резервов молодых рабочих для выполнения разнообразных работ по обмотке электрических машин в значительной степени зависит от освоения курса специальной технологии по обмоточным работам.

Третье издание настоящего учебника имеет целью в доступной форме дать знания учащимся ремесленных училищ, необходимые при выполнении электрообмоточных работ.

---

*Глава I*

## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СЛЕСАРНЫХ РАБОТ

Слесарное дело является основой профессии слесарей всех специальностей. При выполнении обмоточных работ обмотчику также приходится выполнять отдельные операции, которые по своему характеру относятся к слесарным работам. Эти операции связаны как с изготовлением элементов обмоток (стержней, катушек и секций), так и с укладкой обмоток в пазы. По существу укладка обмоток в пазы является типичной сборочной операцией, при которой необмотанный сердечник электрической машины превращается в обмотанный.

Процессы заготовки элементов обмоток в значительной степени механизированы. Механизация осуществляется введением специального оборудования в виде намоточных, гибочных, растяжных, изолировочных станков, а также целого ряда приспособлений.

В электрических машинах малой мощности механизация укладки обмоток в пазы осуществляется путем намотки проводов в пазы на специальных обмоточных станках. Таким образом, отпадают операции предварительной заготовки элементов обмотки, а процесс укладки проводов в пазы совершается на станке. Что же касается электрических машин средней и большой мощности, то укладка проводов в пазы не механизирована, и ручной труд на этих операциях продолжает применяться до сих пор.

В этой главе излагаются основы и особенности применения слесарных операций при обмоточных работах в процессе заготовки элементов обмоток. Сюда относятся следующие слесарные работы: рубка и правка металлов, гибка, резание, опиливание, клепка, паяние и лужение. В ней же дано описание инструментов и конструкций наиболее распространенных приспособлений для выполнения различных видов слесарных работ.

Сборочные операции по укладке обмоток в пазы будут изложены в соответствующих главах, так как они связаны со схемами обмоток.

## РУБКА

Рубкой называется обработка металлов при помощи зубила и молотка, при которой производится разделение заготовки на отдельные куски. Обмотчику приходится иметь дело не только с рубкой меди, из которой выполнены провода обмоток, но и стали, например при обрубке концов проволочных бандажей.

При выполнении обмоточных работ рубка применяется в следующих случаях: рубка заготовок для шинных секций, клинышков и скобочек; обрубка концов обмотки, выступающих из прорезей коллекторных пластин, после укладки обмотки в пазы якоря; вырубание промежуточных витков бандажей после намотки их на ротор и др.

Инструментами для рубки служат зубило и молоток. Зубило представляет собой плоскую клинообразную лопатку с заточенной на ее конце режущей кромкой. Головка зубила имеет форму конуса, края ее скруглены. Зубила изготовляются из углеродистой стали марки У7А. Угол заточки зависит от свойств металлов, подлежащих рубке: чем мягче металл, тем острее должно быть заточено лезвие зубила; для рубки меди угол заточки составляет 30—45°. Заточка зубила производится на точиле. В процессе заточки зубило попеременно приставляют к кругу то одной, то другой режущей гранью, медленно перемещая его по поверхности круга вправо и влево. Затачивая инструмент, сначала сильно нажимают режущей гранью на круг, чтобы снять больший слой металла, а к концу заточки нажим ослабляют. Когда заточка закончена, осторожно снимают заусенцы, которые образуются на режущей кромке.

Для ударов по головке зубила служит молоток. Обмотчики обычно применяют молоток с круглым бойком, поверхность которого делается выпуклой. Вес молотка от 400 *г* (для учащихся в возрасте 11—15 лет) до 600 *г* (для взрослых рабочих).

Ручка молотка делается из твердых пород дерева — дуба, бука, березы и т. п. Длина ручки зависит от веса молотка: для молотка весом 400 *г* длина ручки должна быть 350 *мм*, для молотка весом 600 *г* — 380 *мм*. Поверхность ручки должна быть хорошо обстрогана и гладко отшлифована наждачной бумагой. Молоток насаживают на тонкий конец ручки и заклинивают на ней деревянными или металлическими клиньями.

Рубка требует уверенных, почти автоматических движений, что достигается длительной тренировкой. При нанесении удара не следует смотреть на головку зубила. Все внимание надо сосредоточить на лезвии зубила и рубку производить смело, не боясь промахнуться.

При рубке удары молотком могут производиться с кистевым, локтевым или плечевым замахом. Чтобы произвести удар с кистевым замахом, сначала делают замах молотком движением кисти вверх до отказа, а затем производят толчок кисти вперед.



Локтевой замах производится локтевым движением руки, сгибанием ее до отказа и последующим быстрым разгибанием. Для получения удара после замаха разгибающее действие руки производится толчком, чтобы молоток приобрел достаточную скорость движения. Плечевой замах представляет полный замах всей руки. Он состоит из действия плеча, предплечья и кисти.

При рубке зубило берут в левую руку на расстоянии 20—25 *мм* от головки и держат пальцами в обхват так, чтобы большой палец лежал на указательном. Молоток берут за рукоятку правой рукой и держат на расстоянии 14—20 *мм* от конца рукоятки. Рубка производится на плите. Зубило устанавливают левой рукой на отрубаемую полосу и молотком наносят по зубилу сильный удар.

При выполнении обмоточных работ рубка применяется для отделения от полосы меди отрезков требуемой длины для стержней обмотки. К рубке прибегают при сечении полосы больше 120 *мм*$^2$. Полосы меньших сечений режут ножницами с рычажным приводом.

Рис. 1. Обрубка концов обмотки на коллекторе

Однако иногда прибегают к рубке проводов малых сечений, когда по условиям работы нельзя их отделить другими способами. В качестве примера можно привести обрубку концов обмотки якоря, выступающих из коллекторных пластин. Особенность этой работы состоит в том, что после отрубания провода конец зубила лишается опоры (рис. 1). Поэтому при рубке обмотчик упирается ребром ладони в поверхность петушков коллекторных пластин, чтобы соскочившее лезвие зубила не попортило поверхность коллектора. При рубке концов проводов обмотки нельзя наносить очень сильные удары, под действием которых коллекторная пластина может опуститься и тогда при проточке коллектора придется снимать большой слой меди с его поверхности. Для уменьшения необходимой силы удара зубило должно быть остро заточено и лезвие его в исправном состоянии. Чем более тонкие провода приходится рубить, тем острее должно быть зубило.

Рубка полосы на отдельные шины является малопроизводительным процессом. Поэтому для шин малого сечения применяют рычажные ножницы. Для шин больших сечений применяют фрикционные прессы, которые дают высокую производительность по сравнению с ручными рычажными ножницами. На ножницах и на фрикционных прессах полоса режется на шины определенной длины, но они получаются неровными и после резки приходится править их вручную, на что уходит много времени (до 3 мин. на метр длины полосы).

При крупносерийном производстве обмоточные цехи оборудуют специальными станками, которые не только режут полосу на заготовки определенной длины, но одновременно и рихтуют ее. Полоса рихтуется в обеих плоскостях, т. е. как на широкую сторону, так и на ребро. Производительность таких станков в несколько раз выше ручного труда.

Отрезной станок представляет собой раму длиной до 2 *м*, которая опирается на стойки. С одной стороны рамы расположены рихтующие ролики. Часть роликов установлена вертикально для рихтовки полосы на ребро, а другая часть — горизонтально для рихтовки полосы относительно широкой стороны. При работе с полосами разных размеров расстояния между роликами могут изменяться.

Вдоль рамы двигается ползун при помощи шатуна, второй конец которого закрепляется на радиусе маховика. Изменяя точку закрепления конца шатуна, можно регулировать ход ползуна. На ползуне имеется зажим, захватывающий конец полосы. На одной стороне рамы имеется отрезное устройство, причем нож включается в тот момент, когда ползун вытянул полосу на заданную длину. Если необходимо резать полосу на длинные куски, то станок настраивают так, что нож вступает в действие только после нескольких ходов ползуна. При обратном ходе ползуна губки зажима раздвигаются и он свободно скользит вдоль полосы.

## ПРАВКА

При помощи правки устраняют искривления прутков и полос. Правка производится ударами молотка по полосе, положенной на ровную и гладкую стальную плиту. Молоток должен ударять выпуклой частью бойка. При ударе ребром бойка на полосе остаются глубокие вмятины.

Особенностью правки медных полос, идущих на изготовление обмоток высоковольтных машин, является то, что на их поверхности не могут быть допущены даже небольшие забоины, так как они обычно являются причиной пробоя изоляции. Поэтому правка производится деревянными или медными молотками. На правке медных полос хорошо себя зарекомендовали стальные молотки с отверстием, просверленным в торце бойка, в которое забивается пробка из твердого дерева (рис. 2, *д*).



При производстве обмоточных работ правке подвергаются следующие детали: полосы для стержневых секций из голой меди прямоугольного сечения, круглые и прямоугольные стержни для короткозамкнутых обмоток ротора или для успокоительных обмоток синхронных машин.

Во многих случаях процесс правки механизируется и объединяется с другими операциями. Так, например, при намотке полосных катушек из шинной меди процесс правки выполняется самим намоточным станком. Для этого полоса меди с бухты проходит через стальные плашки с закругленными краями, которые стянуты между собой болтами с пружинами. Таким образом полоса попадает на намоточный шаблон уже выпрямленной. Устройство намоточного станка с правильными плашками показано на рис. 23.

При намотке шинных катушек шина вследствие упругости стремится отойти от шаблона. Поэтому ее правят ударами молотка через фибровую прокладку.

Правка шин на отрезных станках производится путем пропускания их между роликами.

В процессе выполнения обмоток из проводов прямоугольного сечения правка производится не только на заготовительных операциях, но и на отделочных. Так, например, лобовые части жестких катушек статора рихтуют после прессовки ударами молотка через прокладку, зажав пазовые части катушки между планками (см. рис. 31).

## ГИБКА

Гибка имеет очень широкое применение в обмотках электрических машин. Всякая катушка состоит из витков, которые получаются путем гибки медного провода. При намотке многовитковой катушки гибка производится намоточным станком. Гибка стержней одновитковых обмоток производится слесарными способами в гибочных приспособлениях.

Для того чтобы все секции имели одинаковые размеры, конец шины доходит до специальных упоров, а загибка производится вокруг специальных шаблонов. Радиус закругления шаблона соответствует радиусу изгиба секции.

Если гибке подвергается шина прямоугольного сечения, то различают гибку на плоскость и гибку на ребро. Гибка на ребро требует применения больших усилий, поэтому она производится на специальных шиногибах. Устройство шиногиба видно на рис. 2, *а*. Шина *4* вкладывается в паз шиногибочного станка и при помощи ролика *1* огибается вокруг шаблона *3*. Между роликом и шиной вкладывается клин *2*, чтобы шина плотно прилегала к шаблону. Затем изогнутая часть шины зажимается струбцинкой и производится отгибка лобовых частей (рис. 2, *б*). На рис. 2, *в* показана операция отгибки пазовых частей сначала

с одной стороны, потом с другой. На рис. 2, *г* показана гибка лобовых частей со стороны коллектора. Последней операцией является отгибка концов секции, соединяемых с коллектором.

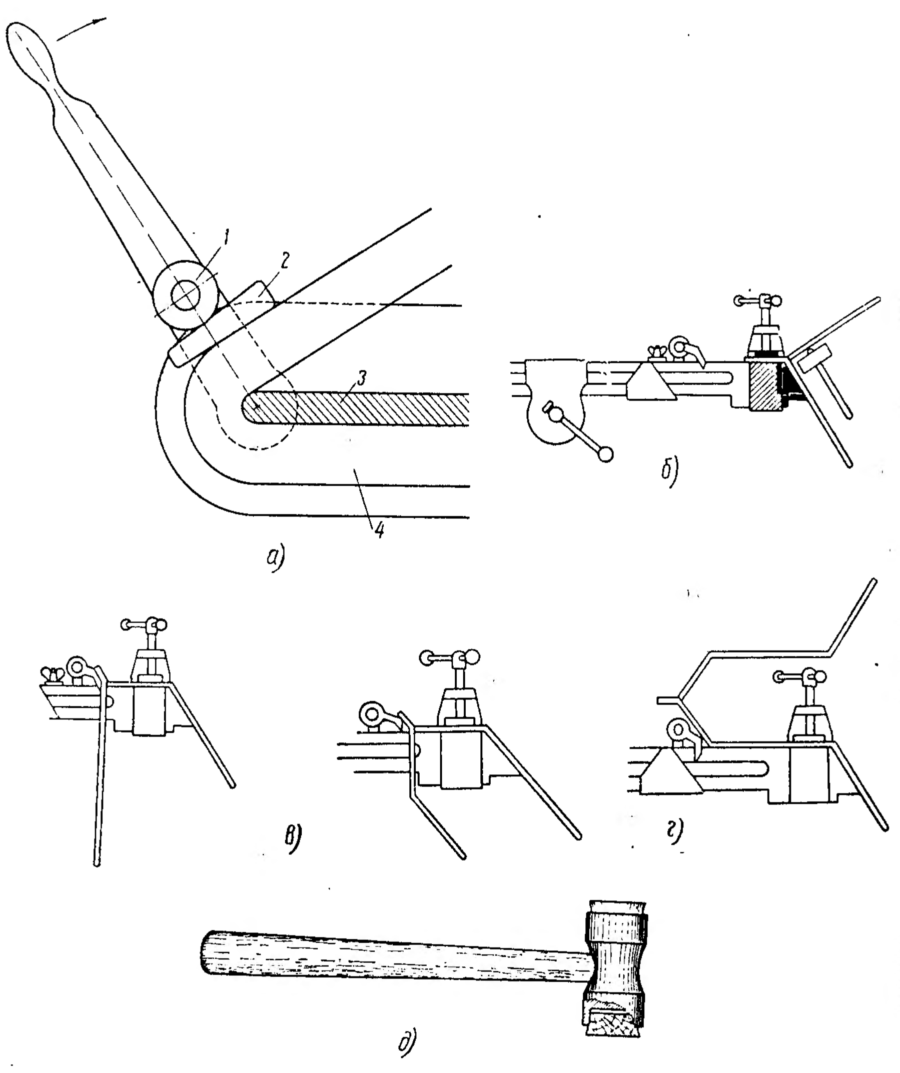



Рис. 2. Гибка шинной катушки:

*а* — устройство шиногиба, *б* — отгибка лобовых частей, *в* — гибка пазовых частей, *г* — гибка лобовых частей со стороны коллектора, *д* — молоток для гибки и правки

При гибке на ребро медных шин большого сечения происходит искажение формы сечения. Около внутреннего закругления шина утолщается, а около наружного закругления утончается. Поэтому после гибки шины отжигают в печи и подвергают прессовке между стальными плашками. При этом медь в утолщенной



части шины сплющивается и получает прежнюю толщину. Если утолщение не удается устранить прессовкой, то его опиливают или сфрезеровывают.

При изготовлении стержневых обмоток надо сначала отрезать кусок шины, а затем производить его гибку. Поэтому надо уметь определять длину заготовки по размерам готового стержня. На рис. 3 показан стержень роторной обмотки. Он имеет два изгиба под углом 45°, которые должны быть скруглены радиусом 10 *мм*. Из центров закруглений проводим линии, перпендикулярные прямолинейным частям. Как видно из рисунка, при этом

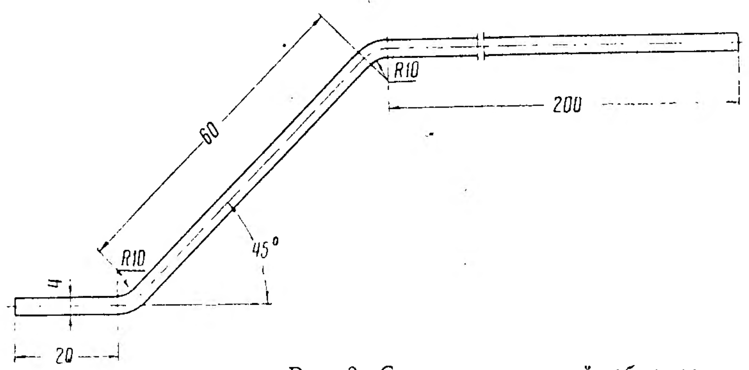



Рис. 3. Стержень роторной обмотки

образуются центральные углы, равные углу загиба стержня, т. е. 45°. Длина заготовки состоит из суммы трех прямолинейных частей стержня и двух закруглений. Длину закруглений следует подсчитывать по средней линии стержня, которая при загибке не удлиняется и не укорачивается. Радиус средней линии будет равен внутреннему радиусу + половина толщины шины, т. е. $10 + 2 = 12$ *мм*. Длина полной окружности с радиусом 12 *мм* по формуле геометрии $2\pi R = 2 \times 3{,}14 \times 12 = 75{,}3$ *мм*. Но центральный угол 45° составляет лишь $1/8$ окружности. Поэтому длина закругления будет равна $75{,}3 : 8 = 9{,}42$ *мм*. Таким образом, полная длина заготовки будет равна: $20 + 60 + 200 + 2 \times 9{,}42 = 298{,}84$ *мм*; округляем до 299 *мм*.

Аналогично можно определить длину заготовки при других размерах и углах загиба стержня.

Кроме секций и катушек, методом гибки изготовляются многие другие детали обмоток, например угольники для подвода тока к полюсным катушкам, хомутики для скрепления стержней роторных обмоток, скрепки для проволочных бандажей и другие детали. При большом количестве изготовляемых деталей гибку производят не вручную, а в гибочных штампах под прессом.

На рис. 4 показана гибка скобочки штампом. Полоса, длина которой равна развернутой длине скобочки, кладется на матрицу *1* штампа между выступами *3*. При ходе ползуна пресса вниз пуансон *2* производит гибку полосы сразу по четырем линиям изгиба. Зазоры между пуансоном и матрицей равны толщине полосы. При подъеме пуансона согнутая скобочка может застревать в углублении матрицы. Поэтому в матрице имеется пружинный выталкиватель *4*, который при опускании пуансона входит в отверстие матрицы, а при подъеме пуансона выталкивает скобочку.

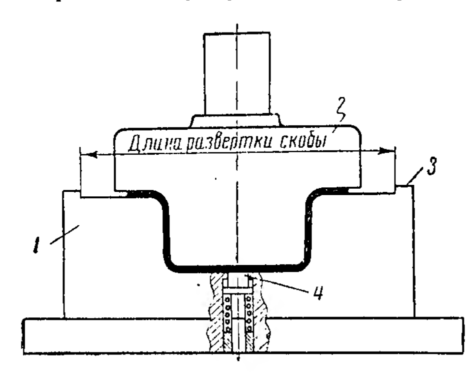



Рис. 4. Гнбка скобочки штампом

## РЕЗАНИЕ

Резанием называется обработка металлов при помощи ножниц, ножовок ручных и механических, приводных пил, вырубных штампов для придания обрабатываемому изделию требуемых размеров и формы. При производстве обмоток электрических машин резание применяется в следующих случаях: резание медных шин для обмоток, резание соединительных пластинок, резание заготовок для хомутиков и других деталей. Резание является очень трудоемкой операцией, поэтому резание вручную стараются заменить всюду, где это возможно, станками с механическим приводом.

На рис. 5 показана приводная ножовка, применяемая для резания толстых плит или валов. Она состоит из станины *1*, стола *2*, зажимных тисков *3*, ножовки *4*, хобота *5*, трубки для охлаждающей жидкости *6* и электродвигателя *7*. Замена ручной ножовки механической позволяет освободиться от утомительного ручного труда и дает большое увеличение производительности труда.

В тех случаях, когда линия резания кривая или с внутренними углами, резание возможно только при помощи штампов. При штамповке, особенно из цветных металлов, надо стремиться к тому, чтобы лучше использовать площадь листа, а отходы металла свести к наименьшему пределу. На рис. 6, *в* показан кабельный наконечник, применяемый для соединений двух проводов. Наконечники напаивают на выводы обмоток электрических машин. На рис. 6, *б* показана схема штамповки заготовок для этих наконечников. Как видно из рисунка, после штамповки оставались большие отходы медной ленты, из которой штампуются наконечники. После изменения формы заготовки наконеч-



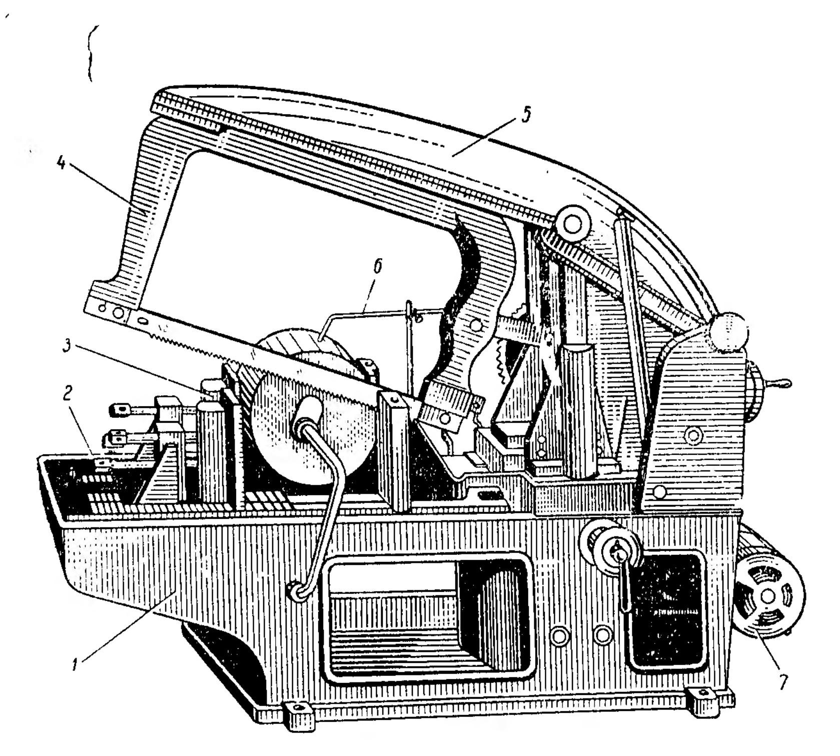



Рис. 5. Механическая ножовка

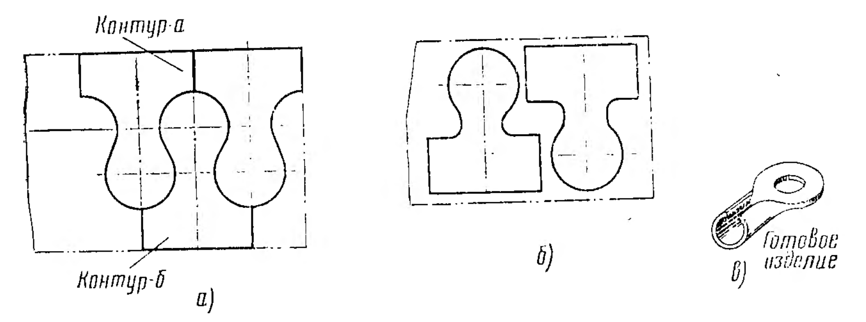



Рис. 6. Штамповка кабельных наконечников:
*а* — после рационализации, *б* — до рационализации, *в* — кабельный наконечник

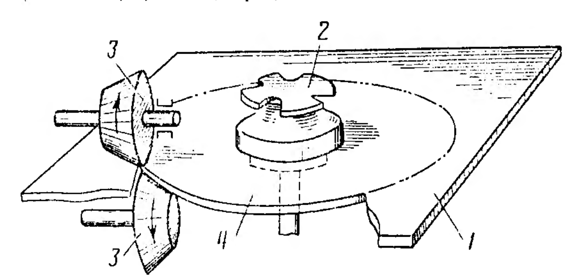



Рис. 7. Роликовые ножницы

ники стали размещаться на ленте вплотную (рис. 6, *а*) и отходов меди не стало, а расход металла сократился на 50%.

Упростился и процесс штамповки. Раньше при каждом ударе штампа получался один наконечник, а лента пропускалась через штамп два раза с перевертыванием. Теперь штамп вырубает только контуры *а*, контуры же *б* остаются после штамповки. Их надо только разрезать на отдельные детали, что делается ножом, скрепленным с этим же штампом. Таким образом, при каждом ударе штампа получаются две заготовки кабельного наконечника.

Тонкий листовой материал режут ручными ножницами. В практике обмоточных работ часто приходится вырезать диски и кольца из изоляционных материалов. Для этого применяются круглые ножницы, у которых резание совершается не прямыми ножами, а острыми стальными роликами. Лист картона *1* или другого материала зажимается в центре между двумя зажимами *2* (рис. 7). Затем начинают вращать ручку, которая через систему шестерен передает вращение роликам *3*. Одновременно начинает вращаться и лист картона. Когда он повернется на полный оборот, из него будет вырезан диск *4*. Если вырезают кольцо, то перемещают центровые зажимы по отношению к роликам, уменьшая радиус, по которому будет производиться резание. При втором повороте из диска будет вырезан кружок, а снаружи образуется кольцо.

Работа на ножницах и особенно на штампах может при неосторожном обращении принести тяжелые увечья работающим на них. Поэтому принимаются специальные меры против возможных несчастных случаев. Так, например, запрещается придерживать полосу рукой при работе на рычажных ножницах; для этого служит специальная планка с педальным приводом. При работе на штампах включается пресс при помощи двух рукояток. Таким образом, руки работающего не могут оказаться под штампом в момент удара пуансона. Еще более надежная защита осуществляется при помощи фотоэлементов. Для этого с одной стороны пресса помещают лампочку, а с другой — фотоэлемент, соединенный с приводом пресса. Если рука находится под штампом и пересекает луч света от лампочки к элементу — пресс не включится, несмотря на нажатие педали.

## ОПИЛИВАНИЕ

Опиливанием называется ручная обработка металла при помощи режущего инструмента, называемого напильником. Напильник снимает слой металла для придания детали точных размеров и необходимой чистоты поверхности.

При производстве обмоточных работ опиливание применяется в следующих случаях:

опиливание поверхности пазов перед укладкой обмоток;

опиливание зубцов на торцах ротора, статора или якоря для



снятия острых углов, которые могут повредить изоляцию обмоток;

опиливание круглых пазов ротора перед забиванием стержней короткозамкнутой обмотки;

опиливание мест паяния в стержневых обмотках.

В отличие от опиливания массивных кусков металла опиливание пазов имеет свои особенности. Стенка паза состоит из многих листов стали, в которой содержится кремний. Поэтому напильники быстро затупляются. Форма паза заставляет применять тонкие и очень длинные напильники, которые гнутся. Особенную

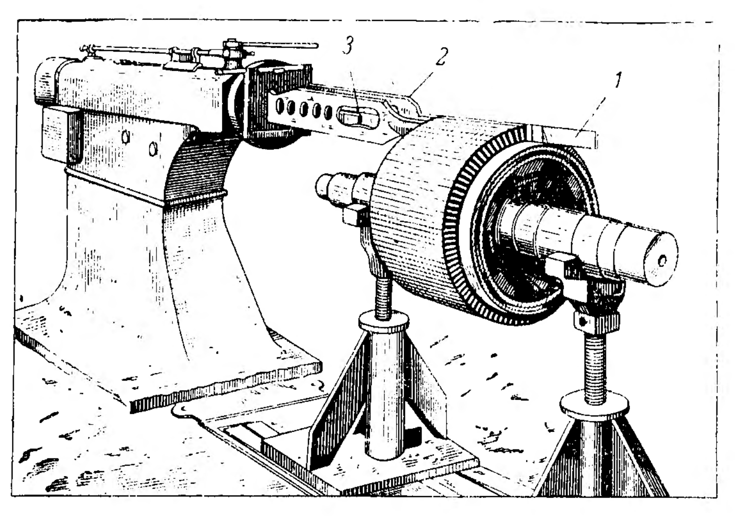



Рис. 8. Обработка пазов ротора на протяжном станке

трудность представляет опиливание пазов в середине сердечника, статора или ротора. При затуплении напильника он не срезает стружку с листов металла, а лишь загибает заусенцы, которые производят замыкание листов. Вследствие этого повышаются потери в стальных сердечниках от вихревых токов.

Для устранения этих трудностей применяются специальные станки для механической обработки пазов, которые дают большое увеличение производительности труда и вытесняют тяжелый ручной труд. На рис. 8 показана обработка пазов ротора на протяжном станке. Инструментом служит протяжка *1*, представляющая собой стержень клинообразного сечения с режущими гранями на боковых сторонах. Протяжка вставляется в паз узкой стороной и соединяется с ползуном *3*. Затем включают станок и протяжка протягивается вдоль паза. Утолщенная часть протяжки соответствует размерам готового паза. Таким образом, при обработке пазов на протяжном станке размер паза по всей длине получается одинаковым, чего нельзя добиться при обработке паза напильниками вручную.

После обработки первого паза ро( поворачивают на одно пазовое деление, вводят протяжку во второй паз и снова включают станок. Крайние листы на торце ротора упираются в хобот станка *2*, что предохраняет их от изгибания.

Медные провода обмотки не опиливаются, так как стержни и шины поступают с кабельных заводов, где им придаются точная форма и размеры путем обработки на волочильных станках.

Опиливание медных деталей ограничивается снятием заусенцев в местах резания, а также острых углов и наплывов припоя при паянии. Опиливание меди затрудняется тем, что она является мягким металлом и ее стружки быстро забивают режущие кромки напильника, поэтому их часто приходится чистить стальными щетками.

При производстве опиловочных работ необходимо следить за исправным состоянием инструментов и правильными приемами пользования ими. Напильники должны быть плотно насажены на деревянные ручки.

## КЛЕПКА

Клепкой называется соединение двух или нескольких деталей при помощи заклепок. В обмоточных работах приклепывают к шинным катушкам полюсов выводные патроны и соединительные пластины в местах перехода из слоя в слой. Раньше применение клепки в обмотках было более широким, но с внедрением сварки заклепки применяются ограниченно.

Заклепка представляет собой цилиндрический стержень с головкой, которая называется закладной. Другая головка, называемая замыкающей, образуется путем расклепывания выступающего конца стержня заклепки в специальных стальных обжимках. При склепывании детали должны быть плотно прижаты. Для образования замыкающей головки стержень должен выступать над поверхностью склепываемой детали на величину от 1,25 до 1,5 диаметра заклепки.

Если шина с заклепкой должна плотно прилегать к другой шине, то заклепки с полукруглой головкой не пригодны. В этом случае применяют заклепку с потайной головкой, которая расклепывается в коническом углублении в шине. На образование потайной головки требуется выступающая длина стержня от 0,8 до 1 диаметра заклепки.

Склепывание деталей производится сильными ударами молотка. Техника безопасности заключается в исправном состоянии инструментов и правильных приемах работы. Молоток должен быть надежно закреплен на рукоятке. Не допускаются обжимки с перекошенными и поломанными углублениями для образования головок заклепок. При клепке в тисках детали должны быть плотно зажаты в губках тисков.



## ПАЯНИЕ

### Паяльники

Паяние представляет один из основных способов соединения деталей в токоведущих частях электрических машин. При помощи паяния соединяются такие детали, как концы обмотки с коллектором, междуфазовые перемычки, концы катушек, выводные провода и т. п.

Для нагревания деталей при паянии и расплавления припоя служат паяльники. Паяльники разделяются на два типа — периодически нагреваемые и непрерывно нагреваемые.

Периодически нагреваемый паяльник представляет собой медный стержень с заостренным концом, насаженный на стальной пруток. Медь обладает высокой теплоемкостью и теплопроводностью, благодаря чему паяльник накапливает большое количество тепла и легко передает его нагреваемым деталям. Однако на нагревание паяльника требуется больше времени, чем занимает сам процесс паяния, поэтому необходимо пользоваться несколькими паяльниками. Для запаса необходимого количества тепла вес паяльника приходится увеличивать до 2 *кг*, что затрудняет пользование им.

Непрерывно нагреваемые паяльники имеют значительные преимущества в отношении производительности труда и поддержания постоянного теплового режима при паянии. Наибольшее распространение получили электрические паяльники с нагревательными спиралями. В качестве нагревательного элемента применяется спираль из проволоки с высоким удельным сопротивлением — нихрома или фехраля.

В электрических паяльниках, включаемых в сеть напряжением 220 *в*, для получения требуемого сопротивления спирали приходится применять очень тонкую проволоку, особенно в паяльниках малой мощности. Такая проволока быстро перегорает, и паяльники приходится часто ремонтировать. Поэтому для питания электрических паяльников стали применять специальные трансформаторы с пониженным напряжением — от 10 *в* (для маломощных паяльников) и до 55 *в* (для паяльников мощностью в несколько сот ватт). Вторичная обмотка трансформатора имеет несколько отпаек, благодаря которым можно регулировать напряжение, а следовательно, и нагрев паяльника. Кроме того, пониженное напряжение обеспечивает безопасность работы.

На рис. 9 показано устройство электрического паяльника мощностью 800 *вт* при напряжении 55 *в*. Стержень паяльника *1* изолирован асбестом *5*, поверх которого уложена нихромовая спираль *6*. Она защищена огнеупорной обмазкой *4*, состоящей из мелкого речного песка, замешенного на жидком стекле. Обмазка способствует большому сроку службы спирали. Для защиты от рассеяния тепла в воздух спираль покрыта изоляцией из смеси

шамота, асбеста и отходов слюды. Чтобы избежать перегорания концов спирали в месте выхода их из обмазки, к концу нихромовой спирали, находящейся под обмазкой, приварены три перевитые нихромовые проволоки *2*, которые сварены с медным проводом *3* в рукоятке паяльника.

На рис. 10 показана конструкция паяльника мощностью 90 *вт*[1]. В стержне *5* профрезерован паз и в него вложена пла-

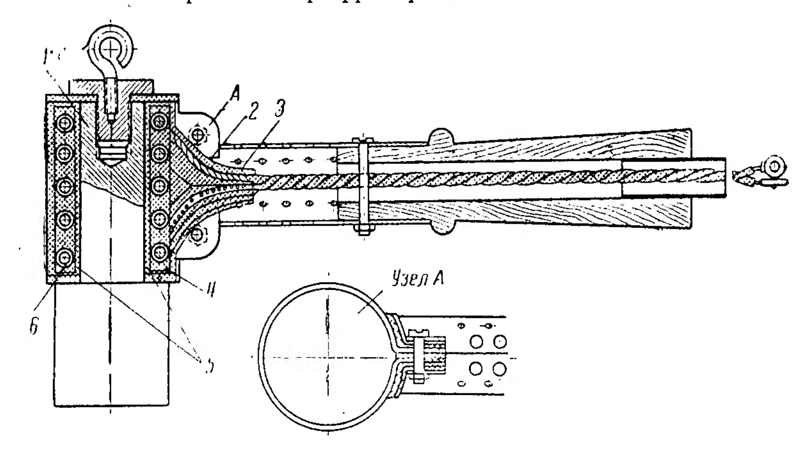



Рис. 9. Устройство электрического паяльника мощностью 800 *вт*

стинка жаростойкого миканита *8* толщиной 1 *мм* с намотанной на него спиралью *4* и *7*. Нагревательный элемент закреплен винтами *6*. Стержень заключен в обойму из листовой стали *3* с при-

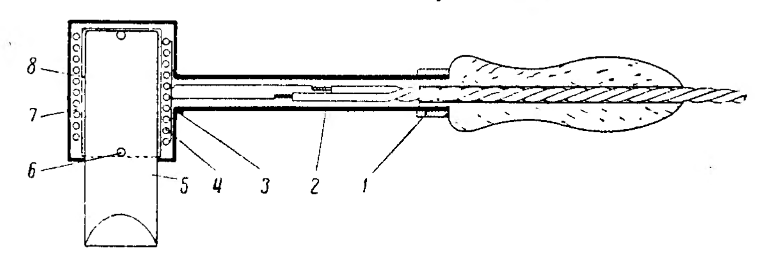



Рис. 10. Устройство электрического паяльника мощностью 90 *вт*

варенной к ней трубкой *2*, которая при помощи кольца *1* скреплена с деревянной ручкой. Для защиты от излучения тепла между стержнем и обоймой вложен шнуровой асбест. Спираль соединена в две параллельные ветви, что схематично показано на рисунке.

Паяльник разогревается до 500° за 11 мин. и устойчиво держит температуру при паянии.

[1] Журн. «Энергетик» № 2, 1957.



## Припои мягкие и твердые

Припоями называются сплавы, при помощи которых производится паяние. Припои разделяются на мягкие и твердые. Из мягких припоев наиболее употребительными являются оловянисто-свинцовые припои, являющиеся сплавами олова и свинца в различных пропорциях. По ГОСТ 1499—54 применяются следующие марки припоев: ПОС-90, ПОС-61, ПОС-50, ПОС-40, ПОС-30 и ПОС-18. В обозначениях марок числа показывают процентное содержание олова. Для лужения применяют припои с меньшим содержанием олова, а для паяния — с большим. Стоимость припоев растет с увеличением содержания олова. Поэтому выбор марки припоя имеет большое экономическое значение. Проведенными опытами доказано, что по механической прочности, электрическому сопротивлению и стойкости против коррозии припои марок ПОС-61, ПОС-50, ПОС-40 и ПОС-30 практически совершенно равноценны. Выбор марки припоя должен диктоваться его жидкотекучестью. Глубокие узкие щели, например прорези в коллекторных пластинах, требуют применения припоя с более высоким содержанием олова. Наоборот, если в местах соединения имеются широкие щели, применение высокооловянистых припоев недопустимо, так как они будут вытекать из мест соединений.

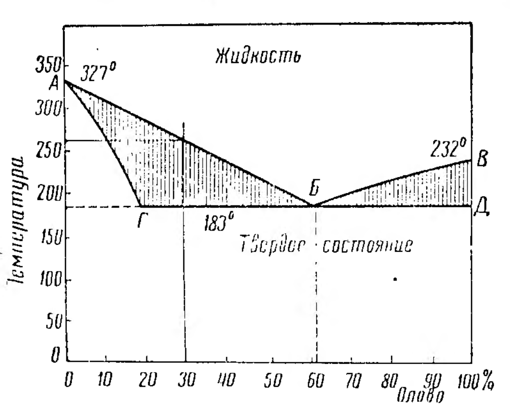



Рис. 11. Диаграмма плавления оловянисто-свинцовых припоев

Свойства оловянисто-свинцовых припоев можно видеть на диаграмме (рис. 11). Числа, расположенные по горизонтальной стороне рамки, показывают процентное содержание олова в припое, а по вертикальной — температуры. Линия *АБВ* обозначает начало затвердевания жидкого припоя, а линия *АГД* — конец затвердевания. В промежутке температур между этими линиями сплав находится в полутвердом состоянии. Для припоя марки ПОС-30 начало затвердевания будет при 262°, а конец — при 183°. Припои с большим промежутком температур обладают хорошими намазывающими свойствами и потому хорошо наносятся на запаиваемые поверхности. Наоборот, если нужно, чтобы припой затвердевал быстрее, следует выбирать припой с малым промежутком температур.

Интересными особенностями обладает припой, содержащий

63% олова. Как видно из диаграммы, этот сплав имеет самую низкую температуру плавления, а переход из твердого состояния в жидкое у него происходит при одной температуре. Поэтому он хорошо подходит для паяния коллекторов.

Свинец и его соединения являются сильными ядами. Поэтому при паянии мягкими припоями надо соблюдать все требования гигиены.

В ряде случаев температура плавления мягких припоев становится недостаточной. Это особенно стало проявляться при введении изоляционных материалов, допускающих высокие температуры нагрева обмоток, превышающие температуры плавления оловянисто-свинцовых припоев. В связи с этим широкое применение получили твердые припои. Сначала применялись исключительно серебряные припои, которые стоили очень дорого. Сейчас в качестве твердого припоя широкое применение получила фосфористая медь, содержащая 7% фосфора. Этот припой значительно дешевле не только серебряных, но и оловянисто-свинцовых припоев. Припой приготовляется в виде тонких пластинок, которые вкладывают при паянии между медными шинами. Нагрев места паяния производится пропусканием тока низкого напряжения, а сам способ называется электропаянием.

### Оборудование для электропаяния

Для подвода тока служат специальные щипцы с угольными электродами, устройство которых показано на рис. 12. Угольные электроды *8* закреплены в двух фасонных губках *5* и *6*. К губ-

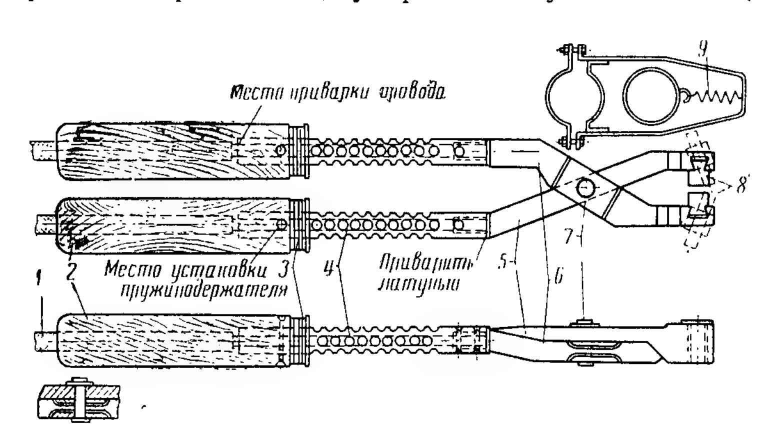



Рис. 12. Щипцы с угольными электродами для паяния

кам припаяны трубки *4* с насаженными на них фибровыми или деревянными ручками *2*. В трубках для уменьшения теплопроводности просверлены отверстия. В одной из губок изолированно от нее укреплена ось *7*, на которой свободно вращается вторая



губка. Изоляция состоит из слюдяной прокладки и втулки из асбоцемента. Щипцы имеют пружину *9* для развода электродов. Кабель *1* припаивается твердым припоем к трубкам *4*. Ручки укреплены бандажами *3* из медной проволоки. Питание щипцов осуществляется от однофазного трансформатора мощностью 3 *ква* при паянии сечений проводов до 15 *мм*$^2$ и 10 *ква* при больших сечениях проводов. Вторичная обмотка трансформатора имеет отпайки, с которых можно получать напряжения 4, 8, 10, 16 и 20 *в*.

На рис. 13, *а* показана конструкция головки, применяемой на заводе «Электросила» для электропаяния обмоток с большими сечениями проводов. Паяльная головка имеет два медных электрододержателя: неподвижный *1* и подвижный *4*, в которые вставлены два графитовых электрода *2* и *3*. Подвижный электрододержатель перемещается с помощью рычага *11* при нажатии на него пальцами руки. Обратный ход электрододержателя производится действием пружины *9*. Для охлаждения электрододержателей через штуцеры *8* подводится проточная вода, которая циркулирует по медным трубкам *5*, *7* и *12* и резиновому шлангу *6*, служащему для соединения неподвижного и подвижного электрододержателей. Паяльщик держит головку за ручку, состоящую из алюминиевого стержня *10* и двух накладок из гетинакса *13* и *14*.

Общая схема установки показана на рис. 13, *б*. От вторичной обмотки трансформатора ток поступает к электродам трех паяльных головок *4*, изготовленным из угля марки ЭГО.

Питание паяльных головок производится от однофазного трансформатора *1*. Первичная обмотка трансформатора включена в линию напряжением 380 *в*, а напряжение вторичной обмотки регулируется в пределах от 10 до 20 *в* при токе от 1000 до 2000 *а*.

Подготовленные к паянию соединения зажимаются между угольными электродами паяльной головки. Затем нажимается одна из ножных педалей *3*, при помощи которой включается один из магнитных пускателей и контакторов *2*. Электрический ток, проходя через электроды, нагревает их до температуры 800—900°. При этом пластинка фосфористой меди, вложенная между проводами, расплавляется. Затем ток выключается и соединение быстро охлаждается циркулирующей по трубкам водой. Весь процесс паяния одного соединения занимает от 1 до 3 *сек*.

Применение паяльных головок со специальной питающей установкой значительно повысило производительность труда и качество соединений. Кроме того, получен значительный экономический эффект. Переход с оловянисто-свинцовых припоев на фосфористо-медный припой в статорных обмотках позволил сэкономить только по одному из цехов завода за год 589 *кг* листовой меди, расходовавшейся ранее на соединительные хомутики, 1900 *кг* припоя марки ПОС-30 и 1360 человеко-часов труда.

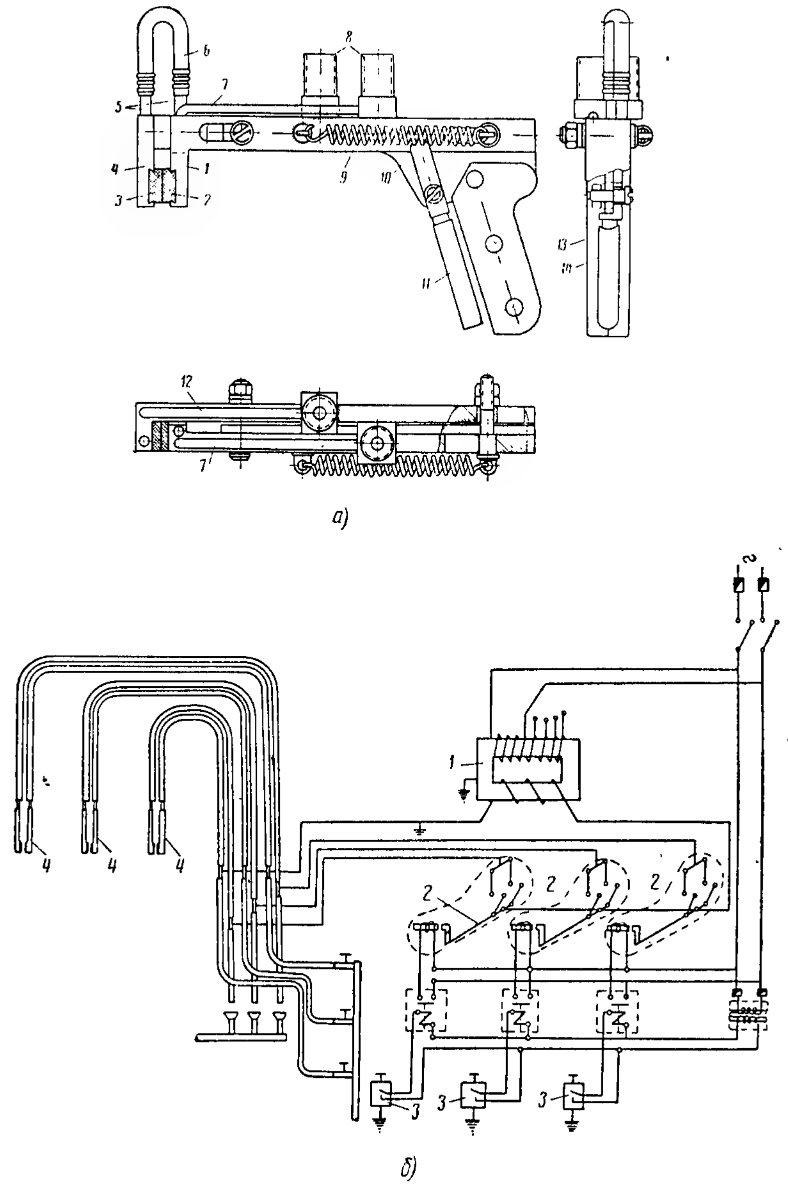



Рис. 13. Установка для паяния обмоток с большим сечением проводов:
*а* — конструкция головки, *б* — схема установки

## Флюсы

Для получения прочного соединения посредством паяния необходимо, чтобы поверхности были тщательно очищены от грязи, жирных пятен и всяких посторонних примесей. Эта очистка может быть произведена механическим путем при помощи напильника, шабера и наждачной бумаги. Кроме того, на поверхности металла всегда имеется пленка окиси, которую недостаточно удалить перед началом паяния, а необходимо еще предохранить металл от окисления в процессе самого паяния. Такая защита достигается применением специальных химических веществ, получивших название *флюсов*.

По характеру действия флюсы можно разбить на две группы. К первой группе принадлежат флюсы, которые растворяют окиси металла, а иногда и самый металл. Эта группа производит хорошую чистку поверхности. К ней относятся: соляная кислота, хлористый цинк, борная кислота, бура и др. В электромашиностроительном производстве флюсы этой группы находят ограниченное применение, так как они действуют разъедающе на медь. Свободные остатки флюсов и пары их, выделяемые в процессе паяния, вызывают коррозию металлов и разъедают изоляцию проводников. Места паяния требуют обязательной промывки в горячей воде, что может быть допущено только при паянии или лужении голых медных шин вне машины.

Вторая группа флюсов не производит никакого химического действия, а служит лишь для образования защитного покрытия поверхности, заранее очищенной каким-либо химическим или механическим способом. К этой группе относятся канифоль, воск, вазелин и др. Наибольшее распространение в электротехническом производстве имеет канифоль.

*Канифоль* приготовляется из сосновой смолы. Ценное свойство канифоли заключается в том, что она не только совершенно не дает коррозии и не выделяет паров, разъедающих изоляцию, но даже защищает место паяния от наружной коррозии твердой сплошной пленкой, образующейся по окончании паяния. Пленка эта водонепроницаема, и кислоты, остающиеся на шве паяния, утрачивают свою активность под этой пленкой.

*Канифольный флюс* применяется для паяния и лужения оловянисто-свинцовым припоем всех токоведущих частей электрических машин, например концов секций, катушек, шин, коллекторных и соединительных пластин, кабельных наконечников и т. п. Можно применять очищенную канифоль в сухом виде или в виде раствора канифоли в бензине или в спирте в пропорции по весу 1 : 1.

Большое распространение получили также специальные пасты, приготовляемые из различных флюсующих материалов. Ниже приводятся составы и способы приготовления паяльных флюсов, применяемых в производстве электрических машин.

*Паяльная паста* применяется пр. паянии оловянисто-свинцовыми припоями в тех местах, где поверхностная проводимость не имеет значения. Состав пасты: вазелин технический — 65,5%, канифоль — 2,5%, хлористый цинк — 20%, хлористый аммоний — 2%, сало — 5%, дистиллированная вода — 5%.

Способ приготовления:

1) загрузить в эмалированную посуду канифоль, нагреть до 120—130° и в расплавленную массу добавить вазелин, производя перемешивание смеси;

2) растворить в подогретой до 30° воде нашатырь, добавить хлористый цинк и после тщательного перемешивания остудить до 25°;

3) загрузить в эмалированную посуду сало и хлористый цинк с нашатырем двумя порциями и тщательно перемешивать до получения однородной смеси;

4) полученную смесь переложить в ступку, добавить предварительно подготовленную канифоль с вазелином, при помощи фарфорового пестика тщательно растереть до получения однородной массы; температура массы при растирании не должна превышать 30°;

5) пропустить растертую массу несколько раз через краскотерку до получения совершенно однородной, густой и прозрачной пасты темно-желтого цвета.

В процессе приготовления паст надо соблюдать требования гигиены, так как составные части ее ядовиты.

## ЛУЖЕНИЕ

Лужение применяется как средство получения надежного, неокисляемого контакта между двумя проводами, скрепляемыми при помощи болтов. Обычно лужению подвергаются и те детали, которые в дальнейшем будут спаяны. Это особенно необходимо в тех случаях, когда паяние должно производиться в узких глубоких щелях. Так, например, перед впаиванием концов проводов обмотки якоря в прорези коллекторных пластин предварительно пролуживают как концы проводов, так и стенки прорезей в коллекторных пластинах.

Существуют два способа лужения — электролитическое и горячее. Электролитическое лужение производится в ваннах с электролитом, через который пропускают постоянный ток низкого напряжения. Одним электродом являются изделия, которые требуется облудить, а другим — пластина олова. Электролитическое лужение применяют только для мелких деталей, которые связываются медной проволокой. Концы шин, коллекторные пластины и другие детали лудят горячим способом путем погружения их в ванну с расплавленным припоем.

Паяние кабельных наконечников на проводах тонкого сечения (рис. 14, *а*) также производится путем погружения в ванну с расплавленным припоем. Для лужения применяют малооловянистые припои ПОС-18 и ПОС-30. Перед лужением поверхности деталей должны быть очищены при помощи флюсов.

Для лужения медных шин, имеющих загрязненную поверхность, применяется флюс следующего состава: хлористый цинк — 58%, хлористый аммоний — 42%.

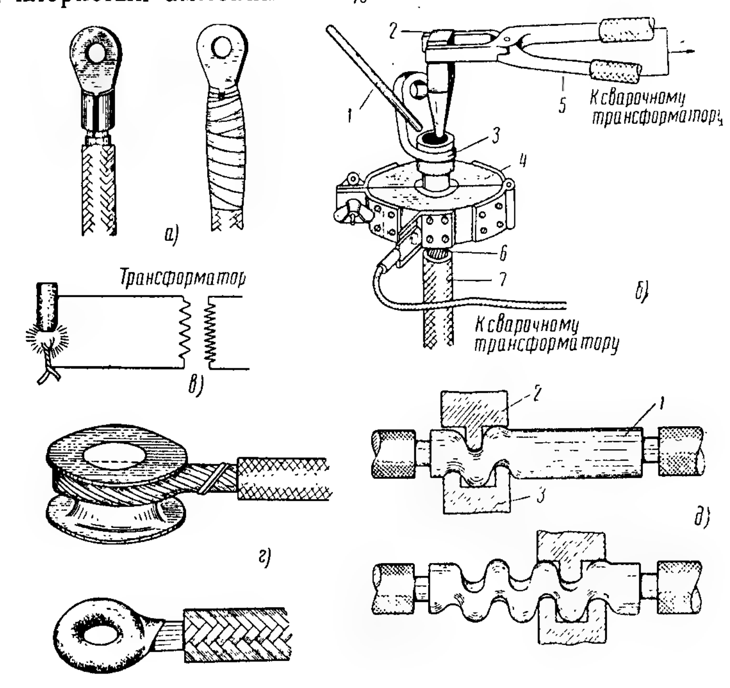



Рис. 14. Способы оконцевания и соединения проводов:
*а* — напайка наконечника, *б* — приварка кабельного наконечника, *в* — сварка проводов, *г* — прессовка пистона, *д* — прессовка соединительной гильзы

Способ приготовления:

1) загрузить в фарфоровый стакан хлористый цинк и хлористый аммоний, тщательно перемешать в однородную массу и растворить в четырех частях воды;

2) добавить спирт-сырец в количестве 20% общего объема флюса.

После лужения детали ее необходимо промыть в теплой воде для предохранения от окисления.

## СВАРКА СОЕДИНЕНИЙ В ОБМОТКАХ

Кроме паяния, для соединения в обмотках электрических машин широко применяется сварка, как контактная по методу сопротивления, так и дуговая.

Междукатушечные соединения статорных обмоток из тонкого провода сваривают при помощи электрической дуговой сварки. Один конец вторичной обмотки однофазного трансформатора подводится к проводам обмотки, которые скручены друг с другом. Второй конец обмотки трансформатора соединяется с угольным электродом (рис. 14, *в*). Электрод подводится к торцам скрученных проводов, и загорающаяся дута оплавляет концы проводов. Сварку необходимо производить в сварочных очках для защиты глаз от вредного действия ультрафиолетовых лучей электрической дуги.

На рис. 14, *б* показан процесс приварки кабельного наконечника *3* к проводу *7* большого сечения. Для защиты изоляции провода от сильного нагрева жилу *6* провода зажимают в массивный охладитель *4*, состоящий из двух половин, соединенных шарниром. Один провод от понижающего трансформатора присоединяют к охладителю, а другой — к держателю *5* угольного электрода *2*. Дуга, загорающаяся между электродом и концом провода, расплавляет металл, и образующееся углубление заполняется расплавленным металлом от присадочного прутка *1*.

В последнее время для соединений элементов электрических цепей широко применяется метод прессовки, получивший название холодной сварки. Под большим давлением, создаваемым ручными клещами или гидравлическим прессом, соединяемые детали спрессовываются в однородное тело. На рис. 14, *д* показано соединение двух проводов методом прессовки. На зачищенные концы проводов надевают медную гильзу *1* и сжимают ее между губками щипцов *2* и *3* в нескольких местах.

На рис. 14, *г* показан способ напрессовки на конец провода, свернутого в колечко, пистона, заменяющего кабельный наконечник.

*Глава II*

# ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА

## ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Электроизоляционные материалы применяются для изоляции проводов обмотки друг от друга и от корпуса машины. Выбор материалов для изоляции обмоток определяется условиями работы машины и свойствами изоляционных материалов. Наиболее важными свойствами изоляционных материалов являются:

электрическая прочность, которая определяется пробивным



напряжением и выражается в киловольтах на 1 *мм* толщины изоляции;

нагревостойкость, т. е. способность изоляции длительно выдерживать без повреждений действие повышенной температуры;

прочность на разрыв, определяемая грузом, при котором происходит разрыв образца изоляционного материала; выражается в килограммах на 1 *мм²*.

По нагревостойкости изоляционные материалы разделяются на два основных класса: класс А и класс В. К классу А относятся хлопчатобумажное волокно, шелк, бумага и другие органические материалы, пропитанные маслом или погруженные в него, а также состав, называемый эмалью, применяемый при изготовлении эмалированной проволоки. К классу В — изделия из слюды и асбеста, содержащие связующие вещества, а также механические скрепляющие материалы (бумаги, картоны, ткани, ленты и др.).

Обмотки электрических машин с изоляцией класса А допускают превышение температуры на 65° над температурой окружающего воздуха, которая обычно принимается равной 35°. Обмотки с изоляцией класса В допускают превышение температуры на 85°. В последнее время все большее распространение получают обмотки с изоляцией, состоящей из стеклянной ткани или лент, пропитанных в кремний-органических лаках. Такая изоляция допускает нагрев до 180° и выше. Для изоляции обмоток электрических машин применяются следующие изоляционные материалы:

электроизоляционные смолы, представляющие собой при комнатной температуре твердые вещества. Они растворяются в органических растворителях (спирт, бензин, скипидар, толуол, бензол) и образуют вязкие растворы, называемые лаками. По своему происхождению смолы делятся на природные и искусственные (синтетические):

*битумы* и *асфальты* — вещества, близкие к смолам. Они состоят из смеси твердых и жидких углеводородов. Битумы делятся на искусственные, являющиеся продуктами перегонки нефти, и природные (ископаемые), называемые асфальтами, или асфальтитами. Битумы применяются для изготовления черных изоляционных лаков, а также пропиточных и заливочных составов.

К природным смолам относятся:

*шеллак* — природная смола, ввозится из Индии. Отличается хорошей клеящей способностью по отношению к слюде, картонам и тканям. Растворяется в этиловом спирте. Применяется для клейки миканитовой изоляции;

*копалы* — естественные смолы, добываемые в Армении, Азербайджане и на Дальнем Востоке. Растворяются в спиртах и эфирах. Применяются для изготовления покровных лаков;

*канифоль* — изготовляется из сосновой смолы. Растворяется в спирте, скипидаре, минеральных и растительных маслах. Приме-

няется как загуститель для масляно-канифольных пропиточных составов, а также в качестве флюса при паянии меди оловянисто-свинцовыми припоями.

К синтетическим смолам относятся:

*фенольно-формальдегидные смолы,* являющиеся продуктами конденсации фенола с формальдегидом. Получаются нагреванием фенолов с формальдегидом в воде с добавлением щелочи или кислоты. Разновидностью этих смол является *бакелитовая смола,* которая обладает способностью под влиянием нагрева переходить в неплавкое и нерастворимое состояние. Эти смолы применяются для клейки слоистых изоляционных материалов, а также входят в состав пластмасс горячего прессования;

*глифталевые смолы* — продукт конденсации глицерина и фталевого ангидрида при их нагревании. Глифталевые смолы применяются главным образом для изготовления пропиточных, покровных и клеящих лаков;

*силиконы* (кремний-органические соединения) — вещества, в основе строения которых атомы кремния сочетаются с атомами углерода. Силиконы отличаются высокими электрическими свойствами и нагревостойкостью.

Лаки представляют собой растворы пленкообразующих веществ (смол, битумов, высыхающих масел, эфиров, целлюлозы) в летучих растворителях. Эти вещества составляют основу лака. При сушке лака растворитель улетучивается, а лаковая основа переходит в твердое состояние, образуя лаковую пленку. В зависимости от применения различают лаки: *пропиточные, покровные* и *клеящие.* Пропиточные и покровные лаки описаны в главе VI «Пропитка обмоток». Клеящие лаки служат для склеивания различных материалов (миканитов, микалент, гетинакса, текстолита и др.).

В качестве клеящих лаков наибольшее распространение получили: шеллачный, бакелитовый, глифталевый, а также масляно-глифталевые и масляно-битумные лаки. Для изоляционных материалов с высокой нагревостойкостью применяется кремний-органический лак.

В электроизоляционной технике большое распространение получили волокнистые материалы органического или неорганического происхождения.

Органические волокнистые материалы разделяются на следующие группы:

материалы из растительных волокон, сохраняющие структуру элементарного волокна (бумажные и текстильные материалы);

искусственные материалы из растительных волокон, подвергшиеся химической обработке (фибра);

искусственные материалы из синтетических смол (капрон, нейлон);

материалы животного происхождения (шелк).



Неорганические волокнистые материалы разделяются на естественные (асбест) и искусственные (стеклянное волокно).

*Хлопчатобумажные* ленты представляют собой тканые полоски, вырабатываемые на лентоткацких станках из суровой хлопчатобумажной пряжи. Различают следующие сорта изоляционных хлопчатобумажных лент: киперная, тафтяная, миткалевая и батистовая.

*Киперная* хлопчатобумажная лента изготовляется толщиной 0,45 *мм* и шириной от 10 до 50 *мм* и применяется в качестве верхнего защитного слоя в изоляции полюсных катушек, а также как временная скрепляющая лента при компаундировании катушек.

*Тафтяная* лента изготовляется толщиной 0,25 *мм* и шириной от 10 до 50 *мм* и применяется в качестве верхнего защитного слоя изоляции катушек и стержней, вкладываемых в пазы.

*Миткалевая* лента изготовляется толщиной 0,22 *мм* и шириной от 12 до 35 *мм* и применяется в тех же случаях, что и тафтяная лента.

*Батистовая* лента изготовляется толщиной 0,18 *мм* и шириной от 12 до 20 *мм*; применяется для изолировки катушек малых машин.

Из электроизоляционных тканей наибольшее распространение имеют перкаль для производства лакоткани, миткаль и бязь для производства текстолита. Ткани из натурального шелка — эксцельсиор, фуляр и флорентин — ввиду малой толщины и большой механической прочности применяются для изготовления шелко-слюдяной ленты. Эти ткани используются также для изготовления шелковых лакотканей. Ввиду высокой стоимости тканей из натурального шелка они постепенно заменяются тканями из искусственного шелка.

Для электрической изоляции широко применяется *стеклянное волокно* диаметром в несколько микрон, обладающее высокой механической прочностью и большой эластичностью. Волокна получают путем вытягивания их через узкие отверстия в дне платинового нагревателя, в котором расплавляются стеклянные шарики. В производстве стекловолокнистой изоляции применяют стеклянную нить, состоящую из 95—102 элементарных волокон. Для изоляции проводов такую нить скручивают в несколько сложений.

*Стеклянная лента* изготовляется из стеклянных нитей. Лента имеет толщину от 0,08 до 0,25 *мм* и ширину от 8 до 50 *мм.* Для специальных целей она может быть изготовлена толщиной 0,06—0,07 *мм.*

Стеклянная лента применяется в пропитанном виде для изоляции обмоток электрических машин с повышенной рабочей температурой. Тонкие сорта ее применяются для изготовления стекломикалент.

Для производства стекломиканит.. и стеклотекстолита применяется *стеклянная ткань*, которая изготовляется толщиной 0,06—0,09 *мм* и шириной от 600 до 1200 *мм*.

*Асбест* представляет собой минерал волокнистого строения. Он легко расщепляется и дает тонкое эластичное волокно, способное скручиваться в нити. Асбест применяется в электротехнике в виде пряжи для покрытия проводов; в виде бумаги, картона, лент и тканей для изолировки обмоток, а также в производстве слоистых материалов. Асбестовое волокно и асбестовая мука находят применение в качестве наполнителей при изготовлении пластмасс и замазок.

Путем механической и химической обработки асбеста получается асбестовая ровница — тонкое волокно, являющееся исходным материалом для получения асбестовой пряжи, тканей, лент, а также для дельта-асбестовой изоляции проводов.

*Асбестовая бумага* изготовляется в рулонах толщиной от 0,2 до 0,5 *мм* и шириной 950 *мм* и применяется после пропитки битумным, глифталевым, шеллачным и другими лаками для междувитковой изоляции полюсных катушек из шинной меди. Асбестовый картон изготовляется в листах толщиной от 2 до 12 *мм* и применяется в качестве прокладок и уплотнений.

*Асбестовая лента* изготовляется из асбестового волокна с примесью хлопчатобумажных волокон. Лента имеет толщину 0,4 *мм* и ширину 25 *мм* и применяется в качестве наружного слоя изоляции катушек с классом изоляции В.

Лакоткани представляют собой гибкие материалы, состоящие из хлопчатобумажной (обозначается ЛХ), шелковой (ЛШ) или стеклянной (ЛС) ткани, пропитанной светлыми или черными изоляционными лаками. Наибольшей гибкостью и малой толщиной (от 0,15 до 0,05 *мм*) отличаются шелковые лакоткани. Наибольшей нагревостойкостью обладают стеклянные лакоткани, пропитанные кремний-органическими лаками. Лакоткани применяются в качестве изоляции катушек и пазовой изоляции. Путем резания листа лакоткани на полосы получают ленты. Резание производят по диагонали листа для лучшего прилегания ленты к изолируемым ею катушкам.

Электрокартон имеет очень широкое применение в изоляции электрических машин. В качестве исходного материала для изготовления бумаг и картонов служит древесная целлюлоза, хлопковое и льняное волокно и др. Электрическая прочность непропитанных бумаг и картонов невелика. С повышением влажности бумаги могут почти полностью утратить изолирующие свойства, поэтому они применяются только в пропитанном виде. Для работы на воздухе применяется электрокартон марок ЭВ (электрокартон воздушный целлюлозный) и ЭВТ (электрокартон воздушный тряпичный). Картон марки ЭВ вырабатывается с глазированной поверхностью. Для работы в минеральном масле применяют картоны марки ЭМ или ЭМТ. Электрокартоны могут



изготовлять . как в виде рулонов, так и в листах. Толщина электрокартона от 0,1 до 3 *мм*.

В изоляции электрических машин электрокартон применяется в качестве пазовых гильз, прокладок между слоями проводов, изоляционных фланцев полюсных катушек и т. п.

Телефонная бумага марки КТ толщиной 0,05 *мм*, прошеллаченная или лакированная глифталем, применяется как скрепляющая изоляция между слоями обмоток. Телефонная бакелизированная бумага применяется для изолировки роторных стержней.

Фибра представляет собой прессованный материал, состоящий из листов бумаги, предварительно обработанных раствором хлористого цинка. Естественный цвет фибры серый; фибра других цветов (красный, черный) получается введением в нее красителей. Применяется фибра для различных прокладок и пазовых клиньев.

Слоистые изоляционные материалы разделяются на *гетинакс*, *текстолит* и *стеклотекстолит*. Они получаются посредством горячего прессования бумаги (гетинакс), хлопчатобумажных тканей (текстолит) или стеклянных тканей (стеклотекстолит), предварительно пропитанных бакелитовыми смолами. Эти материалы изготовляются в виде плит размерами от $400 \times 400$ до $400 \times 700$ *мм*² и толщиной от 0,2 до 50 *мм*. Применяются они в качестве пазовых клиньев, досок зажимов, рамок катушек возбуждения, распорок, шайб щеткодержателей и других деталей.

Электроизоляционные пленки получают из синтетических смол, а также из эфиров целлюлозы, как, например, *триацетатная пленка*. Наклеивая эту пленку на картон марки ЭВП, получают материал *пленкоэлектрокартон*, который широко применяется в качестве пазовой изоляции.

Слюда обладает высокой электрической прочностью и нагревостойкостью. Для электроизоляционных материалов применяются две разновидности слюды: мусковит (калиевая слюда) и флогопит (калиево-магнезиальная слюда). Слюда в чистом виде вследствие высокой стоимости и небольших размеров пластинок для изоляции обмоток не применяется. Но на основе слюды изготовляются многие изоляционные материалы, имеющие широкое применение в обмотках электрических машин. К этим материалам относятся миканиты, микаленты и микафолий.

Миканиты — листовые материалы, состоящие из отдельных листочков щипаной слюды, склеенных с помощью клеящих лаков. Различают несколько сортов миканита: коллекторный, формовочный, прокладочный, гибкий, стекломиканит.

*Коллекторный миканит* изготовляется двух марок: КФ — из слюды флогопит и КМ — из слюды мусковит на шеллачном или глифталевом лаке. Коллекторный миканит должен иметь минимальную усадку при прессовке. Для этого он должен содержать не более 4—6% клеящих лаков. Усадка миканита при давлении

600 *кг/см²* и температуре 160° не должна превышать 5% для миканита марки КФ и 7% для миканита марки КМ.

Коллекторный миканит изготовляется в листах толщиной от 0,4 до 1,5 *мм.*

*Формовочный миканит* представляет собой листочки слюды, склеенные глифталевым лаком. Изготовляется он в листах толщиной от 0,1 до 1,5 *мм* и применяется в электрических машинах для коллекторных миканитовых манжет, которые получаются методом горячего прессования в стальных пресс-формах.

*Прокладочный миканит* клеится с помощью шеллачного или глифталевого лака. Изготовляется в листах толщиной от 0,5 до 5 *мм* и применяется в качестве прокладок между слоями шинных полюсных катушек, между витками в пазовой части катушек высоковольтных машин и т. п.

*Гибкий миканит* клеится на масляно-глифталевом или масляно-битумном лаке толщиной от 0,15 до 0,5 *мм* и применяется в качестве пазовой изоляции высоковольтных машин, изоляционных прокладок под проволочные бандажи и между слоями лобовых частей якорных обмоток.

*Стекломиканит* представляет собой листочки слюды, наклеенные на стеклянную ткань с помощью масляно-глифталевого или кремний-органических лаков и применяется для обмоток электрических машин с повышенной нагревостойкостью.

*Микафолий* — гибкий в горячем состоянии материал, состоящий из двух-трех слоев щипаной слюды, наклеенной на полотно телефонной бумаги с помощью масляно-глифталевого или шеллачного лака. Микафолий изготовляется в листах толщиной от 0,15 до 0,3 *мм* и применяется в качестве изоляции пазовых частей статорных и роторных катушек и стержней. Заводами выпускается 6 марок микафолия; каждая из них обозначается тремя буквами, имеющими следующие значения: первая буква М — микафолий, вторые буквы М — мусковит или Ф — флогопит, третьи буквы Г — масляно-глифталевый лак, М — масляно-бакелито-глифталевый лак или Ш — шеллачный лак.

Микафолий, у которого вместо телефонной бумаги применено тонкое стеклянное полотно, называется стекломикафолием. Он применяется для пазовой изоляции машин с повышенной нагревостойкостью.

*Микалента* — гибкий в холодном состоянии материал в виде узких лент шириной 20—30 *мм.* Микалента состоит из одного слоя листочков слюды, оклеенных с обеих сторон микалентной бумагой, а также шелком (микашелк) или стеклотканью (стекломикалента). Микаленты изготовляются толщиной от 0,08 до 0,17 *мм* и применяются для изолировки катушек и стержней электрических машин. Заводами изготовляется 8 марок микалент, которые имеют буквенные обозначения. Первая буква Л — лента, вторые буквы Ч — черный лак, С — светлый лак, третьи буквы М — мусковит, Ф—флогопит. После букв проставляются римские цифры— I для лент с повышенной электрической прочностью и II для лент с нормальной электрической прочностью.



Пластмассы в исходном состоянии представляют собой порошкообразные материалы, состоящие из искусственных смол с наполнителем в виде древесной муки, а пластмассы с повышенной прочностью — с асбестовым наполнителем. Путем прессования в горячем состоянии в стальных пресс-формах получаются твердые детали иногда сложной формы. В электрических машинах из пластмасс делают дощечки для крепления выводов обмоток, а в машинах малой мощности на пластмассе прессуют коллекторы, контактные кольца и даже наружные оболочки машин.

## СПОСОБЫ ИЗОЛИРОВКИ

Изолировка отдельных проводов, катушек или секций обмотки может быть произведена двумя способами — обматыванием изоляционной лентой и обертыванием широкой полосой изоляционного материала. Обматывание лентой производится тремя способами — вразбежку, в стык и внахлестку.

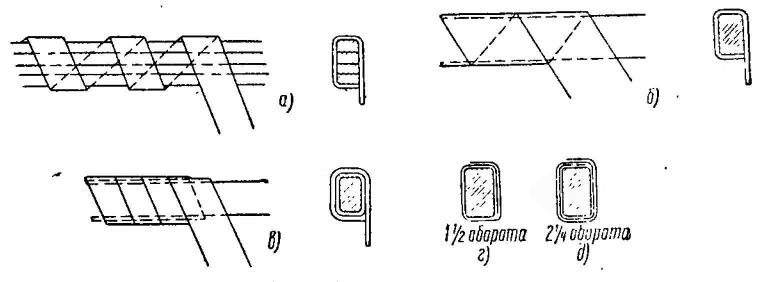



Рис. 15. Способы изолировки проводов:
*а* — вразбежку, *б* — в стык, *в* — внахлестку, *г* — в 1½ оборота, *д* — 2¼ оборота

Обматывание лентой вразбежку (рис. 15, *а*) не создает изоляционного слоя, поэтому применяется только для стягивания проводов перед изолировкой.

Обматывание лентой в стык (рис. 15, *б*) применяется только для верхнего слоя изоляции, который служит в качестве механической защиты лежащих под ним слоев изоляции. Например, обматывание полотняной или асбестовой лентой в стык применяется для пазовых частей катушки.

Обматывание лентой внахлестку (рис. 15, *в*) применяется для наложения на провод или на катушку основной изоляции. Число слоев изоляции зависит от напряжения машины. Обматывание внахлестку производится с перекрытием предыдущего витка ленты на половину или на одну треть ее ширины. При обматывании лентой внахлестку геометрическая толщина изоляции получается вдвое больше, чем та толщина, которая рассчитывается на пробой изоляции. Это удвоение толщины изоляции сильно сказывает-

ся на уменьшении заполнения паза проводами. Тем не менее обматывание лентой является единственным способом изоляции катушек высоковольтных машин, позволяющим осуществить непрерывную изоляцию катушки с плавным переходом от пазовых частей к лобовым частям обмотки.

Это не может быть достигнуто при гильзовой изоляции, когда пазовые части катушки изолируются широкой полосой изоляционного материала, а лобовые части обматываются лентой.

При обертывании катушки полосой изоляционного материала, ширина которой равна длине изолируемого участка, общая толщина изоляции получается меньше, чем при изолировке лентой. Если для изоляции достаточно одного слоя изоляционного материала, то для закрепления концов полосы применяется перекрытие по двум сторонам сечения (рис. 15, *г*). При большем числе слоев можно ограничиться перекрытием на одной стороне сечения (рис. 15, *д*). Таким образом, при большем числе слоев изоляции получается значительная выгода в общей толщине изоляции по сравнению с изолировкой лентой. Кроме того, обертывание широкой полосой изоляционного материала дает большую экономию времени, требуемого для изолировки. Однако посредством обертывания можно изолировать только прямолинейные части катушки, а лобовые части могут быть изолированы только путем обматывания лентой.

Изоляционные материалы стоят значительно дороже металлов, поэтому при раскрое листов надо стремиться к экономному расходованию их.

## ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА

Для намотки катушек применяются обмоточные провода с хлопчатобумажной, шелковой, стеклянной и асбестовой изоляцией, провода с эмалевой изоляцией, провода с комбинированной эмале-волокнистой изоляцией и голые медные провода круглого или прямоугольного сечения. Сортамент и технические условия обмоточных проводов установлены ГОСТ 434—52. Стандартные размеры круглых медных проводов приведены в табл. 1, а проводов прямоугольного сечения — в табл. 2. Расчетные сечения проводов, указанные в табл. 2, меньше произведения сторон прямоугольного провода; это объясняется тем, что углы у прямоугольных проводов скруглены.

По табл. 2 можно быстро определить сечение прямоугольного провода. Например, чтобы узнать сечение провода с размерами сторон 3,28 *мм* и 5,5 *мм*, надо взять на верхней строке рамки меньшую сторону сечения 3,28, а в вертикальном столбце рамки — бо́льшую сторону сечения 5,5. На пересечении горизонтальной строки с вертикальным столбцом в таблице найдем сечение 17,50 *мм*².

Если, наоборот, известно сечение провода, а по нему надо



подобрать размеры сторон, то, взяв в таблице одно из сечений, которое близко подходит к требуемому, на сторонах рамки таблицы найдем размеры прямоугольного провода. Например, сечению 11,40 *мм*² соответствуют провода с размерами сторон 1,68×6,9 или 1,81×6,4 или 1,35×8,6 *мм*². Если брать другие сечения, близко подходящие к 11,40 *мм*², то можно подобрать и другие размеры проводов. В зависимости от изоляции провода делятся на следующие марки:

ПБД — провод с двумя слоями хлопчатобумажной обмотки. Изготовляется в виде круглого провода диаметром от 0,2 до 5,2 *мм* и прямоугольного провода с размерами согласно табл. 2.

ПБО — провод с одним слоем хлопчатобумажной обмотки. Изготовляется в виде круглого провода диаметром от 0,2 до 2,1 *мм* и прямоугольного провода с размерами согласно табл. 2.

ПЭЛ — провод, изолированный бензостойкой эмалью. Изготовляется в виде круглого провода диаметром от 0,05 до 1,56 *мм*.

ПЭЛБО — провод, изолированный бензостойкой эмалью и одним слоем хлопчатобумажной обмотки. Изготовляется только в виде круглого провода диаметром от 0,2 до 1,56 *мм*.

ПЭЛШО — провод, изолированный бензостойкой эмалью с одним слоем шелковой обмотки. Изготовляется в виде круглого провода диаметром от 0,05 до 1,45 *мм*.

ПЭВ-1 и ПЭВ-2 — провода с покрытием эмалью винифлекс. Цифры обозначают число покрытий. Провода винифлекс изготовляются диаметром от 0,1 до 2 *мм* и в виде проводов прямоугольного сечения.

Для обмоток с теплостойкой изоляцией применяются следующие марки обмоточных проводов:

ПЭТ — провод, изолированный теплостойкой эмалью. Изготовляется в виде круглого провода диаметром от 0,05 до 1,56 *мм*.

ПСД — провод с двумя слоями обмотки стеклянными нитями. Изготовляется в виде круглого провода диаметром от 0,1 до 2 *мм* и в виде проводов прямоугольного сечения с размерами, помещенными в табл. 2 выше нижней ломаной линии.

ПЭТСО — провод, изолированный теплостойкой эмалью и одним слоем обмотки стеклянными нитями. Изготовляется в виде круглого провода диаметром от 0,38 до 2,1 *мм*.

ПДА — провод с дельта-асбестовой изоляцией, состоящей из асбестового волокна, подклеенного к меди и пропитанного специальным лаком. Изготовляется в виде круглого провода диаметром от 1 до 4,8 *мм* и прямоугольного провода с размерами выше верхней ломаной линии в табл. 2.

В последнее время получают все более широкое распространение обмотки с кремний-органической изоляцией, которые выдерживают температуру нагрева до 180° и выше; они очень надежны в работе. Для таких обмоток применяются марки проводов:

ПЭТКСО — провод, изолированный теплостойкой эмалью с

одним слоем обмотки стеклянными нитями, пропитанной кремний-органическим лаком.

ПСДК — провод с двумя слоями обмотки стеклянными нитями, пропитанной кремний-органическим лаком.

В табл. 1 и 2 указаны размеры голых проводов. Для того, чтобы узнать размеры изолированного провода, надо прибавить двухстороннюю толщину изоляции провода, которая берется по табл. 3.

**Пример 1.** Какой диаметр имеет изолированный провод марки ПБД, если диаметр голого провода равен 1,2 *мм*?

В табл. 3 по строке с обозначением ПБД, в графе с обозначением от 1,00 до 1,45 находим двухстороннюю толщину изоляции; она равна 0,27 *мм*. Таким образом, диаметр изолированного провода будет: 1,2+0,27=1,47 *мм*.

**Пример 2.** Какие размеры будет иметь изолированный провод марки ПДА, если размеры голого провода равны 2,44 × 4,1 *мм*²? Толщину изоляции находим в табл. 3 по размеру меньшей стороны сечения провода 2,44 *мм*. Она равна 0,4 *мм* на обе стороны.

Полное обозначение такого провода будет:

$$\text{Провод марки ПДА } \frac{2{,}44 \times 4{,}1}{2{,}84 \times 4{,}5}.$$

Над чертой обозначены размеры голого провода, а под чертой соответственные размеры изолированного провода.

*Глава III*

# ТИПЫ ПРОВОЛОЧНЫХ КАТУШЕК И ИХ ИЗОЛЯЦИЯ

## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОБМОТОК

На разных заводах и в технической литературе одни и те же части обмоток имеют разные названия. Так, например, элемент обмотки называется или катушкой, или секцией, или шаблоном. Во избежание путаницы введен ГОСТ 2108—43, в котором даются определения различных частей электрических машин и их названия. Здесь будут приняты названия частей обмоток, соответствующие ГОСТ, хотя они частично и расходятся с терминами, принятыми в программе специальной технологии.

Все обмотки состоят из катушек. Под термином *катушка* подразумевается комплект проводов, которому придана соответствующая форма для вкладывания в пазы сердечника. На рис. 16 показана катушка, разрезанная поперек. Части катушки *1* и *2*, лежащие в пазах, называются пазовыми частями, а части катушки *3*, лежащие вне пазов, — лобовыми частями.

У однослойных обмоток каждая сторона катушки занимает весь паз, поэтому общее число катушек в два раза меньше числа



Таблица 1

**Номинальные диаметры *d*, сечения *s*, веса *G* и сопротивления 1 *км* меди обмоточной круглой**

| Диаметр *d*, *мм* | Сечение *s*, *мм*² | Вес 1 *км* *G*, *кг* | Сопротивление 1 *км* при 15°, *ом* | Диаметр *d*, *мм* | Сечение *s*, *мм*² | Вес 1 *км* *G*, *кг* | Сопротивление 1 *км* при 15°, *ом* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,05 | 0,00196 | 0,01746 | 9100 | (0,77) | 0,466 | 4,14 | 36,9 |
| 0,06 | 0,00283 | 0,0252 | 6310 | 0,80 | 0,503 | 4,47 | 34,2 |
| 0,07 | 0,00385 | 0,0342 | 4630 | (0,83) | 0,541 | 4,81 | 31,8 |
| 0,08 | 0,00503 | 0,0447 | 3550 | 0,86 | 0,581 | 5,16 | 29,6 |
| 0,09 | 0,00636 | 0,0566 | 2810 | (0,90) | 0,636 | 5,66 | 27,0 |
| 0,10 | 0,00785 | 0,0698 | 2270 | 0,93 | 0,679 | 6,04 | 25,3 |
| 0,11 | 0,00950 | 0,0845 | 1813 | (0,96) | 0,724 | 6,43 | 23,8 |
| 0,12 | 0,01131 | 0,1005 | 1524 | 1,00 | 0,785 | 6,98 | 21,9 |
| 0,13 | 0,01327 | 0,1180 | 1296 | (1,04) | 0,849 | 7,55 | 20,3 |
| 0,14 | 0,01539 | 0,1368 | 1118 | 1,08 | 0,916 | 8,14 | 18,79 |
| 0,15 | 0,01767 | 0,1571 | 974 | (1,12) | 0,985 | 8,75 | 17,47 |
| 0,16 | 0,0201 | 0,1788 | 856 | 1,16 | 1,057 | 9,40 | 16,28 |
| 0,17 | 0,0227 | 0,202 | 758 | (1,20) | 1,131 | 10,05 | 15,22 |
| 0,18 | 0,0255 | 0,226 | 674 | 1,25 | 1,227 | 10,91 | 14,02 |
| 0,19 | 0,0284 | 0,252 | 606 | (1,30) | 1,327 | 11,80 | 12,96 |
| 0,20 | 0,0314 | 0,279 | 548 | 1,35 | 1,431 | 12,73 | 12,01 |
| 0,21 | 0,0346 | 0,308 | 497 | (1,40) | 1,539 | 13,69 | 11,18 |
| 0,23 | 0,0415 | 0,369 | 415 | 1,45 | 1,651 | 14,68 | 10,41 |
| 0,25 | 0,0491 | 0,436 | 351 | (1,50) | 1,767 | 15,71 | 9,74 |
| 0,27 | 0,0573 | 0,509 | 300 | 1,56 | 1,911 | 16,99 | 9,00 |
| 0,29 | 0,0661 | 0,587 | 260 | (1,62) | 2,06 | 18,32 | 8,36 |
| 0,31 | 0,0755 | 0,671 | 228 | 1,68 | 2,22 | 19,71 | 7,75 |
| 0,33 | 0,0855 | 0,760 | 201 | (1,74) | 2,38 | 21,1 | 7,23 |
| 0,35 | 0,0962 | 0,855 | 178,8 | 1,81 | 2,57 | 22,9 | 6,70 |
| 0,38 | 0,1134 | 1,008 | 151,8 | (1,88) | 2,78 | 24,7 | 6,19 |
| 0,41 | 0,1320 | 1,173 | 130,3 | 1,95 | 2,99 | 26,5 | 5,76 |
| 0,44 | 0,1521 | 1,352 | 113,2 | (2,02) | 3,20 | 28,5 | 5,38 |
| 0,47 | 0,1735 | 1,542 | 99,2 | 2,10 | 3,46 | 30,8 | 4,97 |
| (0,49) | 0,1886 | 1,676 | 91,3 | 2,26 | 4,01 | 35,7 | 7,29 |
| 0,51 | 0,204 | 1,816 | 84,4 | 2,44 | 4,68 | 41,6 | 3,68 |
| (0,53) | 0,221 | 1,961 | 77,8 | 2,63 | 5,43 | 48,3 | 3,17 |
| 0,55 | 0,238 | 2,11 | 72,3 | 2,83 | 6,29 | 55,9 | 2,73 |
| (0,57) | 0,255 | 2,27 | 67,5 | 3,05 | 7,31 | 65,0 | 2,35 |
| 0,59 | 0,273 | 2,43 | 63,0 | 3,28 | 8,45 | 75,1 | 2,04 |
| (0,62) | 0,302 | 2,68 | 57,0 | 3,53 | 9,79 | 87,0 | 1,758 |
| 0,64 | 0,322 | 2,86 | 53,4 | 3,80 | 11,34 | 100,8 | 1,518 |
| (0,67) | 0,353 | 3,13 | 48,7 | 4,10 | 13,20 | 117,4 | 1,303 |
| 0,69 | 0,374 | 3,32 | 46,0 | 4,50 | 15,90 | 141,4 | 1,082 |
| (0,72) | 0,407 | 3,62 | 42,3 | 4,80 | 18,10 | 160,9 | 0,951 |
| 0,74 | 0,430 | 3,82 | 40,0 | 5,20 | 21,2 | 188,8 | 0,812 |

Примечания.

1. До диаметра 0,10 *мм* включительно провода изготовляются из твердотянутой меди с повышенным удельным сопротивлением.
2. Диаметры проводов в скобках являются малоупотребительными; в частности, для проводов марки ПЭЛ и ПЭТ применять их не рекомендуется.
3. Провод марки ПШО диаметром 0,38; 0,47; 0,51 и 59 не выпускается.

Таблица 2

## Номинальные размеры (в *мм*) и расчетные сечения (в *мм*²) меди обмоточной прямоугольной

| в \ а | 0,9 | 1,0 | 1,08 | 1,16 | 1,25 | 1,35 | 1,45 | 1,56 | 1,68 | 1,81 | 1,95 | 2,10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,10 | 1,82 | 1,89 | 2,06 | 2,23 | 2,42 | 2,63 | 2,84 | 3,07 | 3,32 | 3,59 | — | 3,92 |
| 2,26 | 1,96 | 2,05 | 2,23 | 2,41 | 2,62 | 2,84 | 3,07 | 3,32 | 3,59 | 3,83 | — | — |
| 2,44 | 2,13 | 2,23 | 2,43 | 2,62 | 2,84 | 3,08 | 3,33 | 3,60 | 3,89 | 4,21 | 4,55 | 4,64 |
| 2,63 | 2,30 | 2,42 | 2,63 | 2,84 | 3,08 | 3,34 | 3,60 | 3,80 | 4,21 | 4,55 | 4,92 | 5,04 |
| 2,83 | 2,48 | 2,62 | 2,85 | 3,07 | 3,33 | 3,61 | 3,89 | 4,20 | 4,54 | 4,91 | 5,31 | 5,46 |
| 3,05 | — | 2,84 | 3,08 | 3,33 | 3,60 | 3,91 | 4,21 | 4,55 | 4,91 | 5,31 | 5,74 | 5,93 |
| 3,28 | — | 3,07 | 3,33 | 3,60 | 3,89 | 4,22 | 4,55 | 4,91 | 5,30 | 5,73 | 6,19 | 6,41 |
| 3,53 | — | 3,32 | 3,60 | 3,89 | 4,20 | 4,56 | 4,91 | 5,30 | 5,72 | 6,18 | 6,67 | 6,93 |
| 3,8 | 3,25 | 3,59 | 3,89 | 4,20 | 4,54 | 4,92 | 5,30 | 5,72 | 6,17 | 6,67 | 7,20 | 7,50 |
| 4,1 | — | 3,89 | 4,22 | 4,55 | 4,92 | 5,33 | 5,74 | 6,19 | 6,68 | 7,21 | 7,79 | 8,13 |
| 4,4 | — | 4,19 | 4,54 | 4,89 | 5,29 | 5,73 | 6,17 | 6,65 | 7,18 | 7,75 | 8,37 | 8,76 |
| 4,7 | — | 4,49 | 4,87 | 5,24 | 5,67 | 6,14 | 6,61 | 7,12 | 7,79 | 8,30 | 8,96 | 9,39 |
| 5,1 | — | 4,89 | 5,30 | 5,71 | 6,17 | 6,88 | 7,19 | 7,75 | 8,36 | 9,02 | 9,74 | 10,20 |
| 5,5 | — | 5,29 | 5,73 | 6,17 | 6,67 | 7,22 | 7,77 | 8,37 | 9,03 | 9,75 | 10,50 | 11,10 |
| 5,9 | — | 5,69 | 6,16 | 6,63 | 7,17 | 7,76 | 8,35 | 8,99 | 9,70 | 10,50 | 11,30 | 11,90 |
| 6,4 | — | 6,19 | 6,70 | 7,21 | 7,79 | 8,43 | 9,07 | 9,77 | 10,60 | 11,40 | 12,30 | 12,90 |
| 6,9 | — | 6,69 | 7,24 | 7,79 | 8,42 | 9,11 | 9,79 | 10,60 | 11,40 | 12,30 | 13,30 | 14 |
| 7,4 | — | 7,19 | 7,78 | 8,37 | 9,04 | 9,78 | 10,50 | 11,30 | 12,60 | 13,30 | 14,20 | 15 |
| 8,0 | — | 7,79 | 8,43 | 9,07 | 9,79 | 10,60 | 11,40 | 12,30 | 13,20 | 14,40 | 15,40 | 16,30 |
| 8,6 | — | 8,39 | 9,08 | 9,77 | 10,60 | 11,40 | 12,30 | 13,20 | 14,20 | 15,50 | 16,60 | 17,60 |
| 9,3 | — | — | — | — | — | 12,40 | 13,30 | 14,30 | 15,40 | 16,60 | 17,90 | 19 |
| 10 | — | — | — | 11,4 | — | — | — | 15,40 | 16,60 | 17,90 | 19,30 | 20,5 |
| 10,8 | — | — | — | — | — | — | — | — | 18,2 | 19,30 | 20,90 | 22,2 |
| 11,6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 23,9 |
| 12,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 25,8 |
| 13,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 14,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

| а \ в | 2,26 | 2,44 | 2,63 | 2,83 | 3,05 | 3,28 | 3,53 | 3,8 | 4,1 | 4,4 | 4,7 | 5,1 | 5,5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,10 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,26 | 4,63 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,44 | — | 5,37 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,63 | — | 5,94 | 6,44 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,83 | 5,92 | 6,43 | — | 7,53 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3,05 | 6,41 | 6,96 | 7,54 | 8,15 | 8,72 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3,28 | 6,93 | 7,52 | 8,15 | 8,80 | — | 10,30 | — | — | — | — | — | — | — |
| 3,53 | 7,50 | 8,13 | 8,80 | 9,51 | 10,30 | 11,10 | 12 | — | — | — | — | — | — |
| 3,8 | 8,11 | 8,79 | 9,51 | 10,30 | 11,10 | 12 | — | 13,90 | — | — | — | — | — |
| 4,1 | 8,79 | 9,52 | 10,30 | 11,10 | 12 | 13 | 14 | 15,10 | 15,90 | — | — | — | — |
| 4,4 | 9,46 | 10,20 | 11,10 | 12 | 12,90 | 13,90 | 15 | 16,20 | 17,10 | 18,50 | — | — | — |
| 4,7 | 10,10 | 11 | 11,90 | 12,80 | 13,80 | 14,90 | 16,10 | 17,40 | 18,40 | — | 21,1 | — | — |
| 5,1 | 11 | 11,90 | 12,90 | 13,90 | 15,10 | 16,20 | 17,50 | 18,90 | 20 | 21,5 | — | 25,1 | — |
| 5,5 | 11,90 | 12,90 | 14,60 | 15,10 | 16,30 | 17,50 | 18,90 | 20,4 | 21,7 | 23,3 | 25,0 | — | — |
| 5,9 | 12,80 | 13,90 | 15 | 16,20 | 17,50 | 18,90 | 20,3 | 21,9 | 23,3 | 25,1 | 26,8 | 29,2 | — |
| 6,4 | 14 | 15,10 | 16,30 | 17,60 | 19 | 20,5 | 22,1 | 23,8 | 25,3 | 27,3 | 29,2 | 31,7 | 34,3 |
| 6,9 | 15,10 | 16,30 | 17,70 | 19 | 20,6 | 22,1 | 23,9 | 25,7 | 27,4 | 29,5 | 31,5 | 34,3 | 37,1 |
| 7,4 | 16,20 | 17,60 | 19 | 20,4 | 22,1 | 23,6 | 25,6 | 27,6 | 29,4 | 31,7 | 33,9 | 36 | 39,8 |
| 8,0 | 17,60 | 19 | 20,5 | 22,1 | 23,9 | 25,7 | 27,7 | 29,9 | 31,9 | 34,3 | 36,7 | 39,9 | 43,1 |
| 8,6 | 18,90 | 20,5 | 22,1 | 23,8 | 25,7 | 27,7 | 29,9 | 32,2 | 34,4 | 36,9 | 39,5 | 43,0 | 46,4 |
| 9,3 | 20,5 | 22,2 | 24 | 25,8 | 27,9 | 30 | 32,3 | 34,8 | 37,2 | 40 | 42,8 | 46,5 | 50,5 |
| 10,0 | 22,1 | 23,9 | 25,8 | 27,8 | 30 | 32,3 | 34,8 | 37,5 | 40,1 | 43,1 | 46,1 | 50,1 | 54,1 |
| 10,8 | 23,9 | 25,9 | 27,9 | 30,1 | 32,4 | 34,9 | 37,6 | 40,5 | 43,4 | 46,6 | 49,9 | 54,2 | 58,5 |
| 11,6 | 25,7 | 27,8 | 30 | 32,3 | 34,9 | 37,5 | 40,5 | 43,6 | 46,7 | 50,1 | 53,6 | 58,3 | 62,9 |
| 12,5 | 27,8 | 30 | 32,4 | 34,9 | 37,6 | 40,5 | 43,6 | 47 | 50,4 | 54,1 | 57,9 | 62,9 | 67,9 |
| 13,5 | — | 32,4 | 35,0 | 37,7 | 40,7 | 43,8 | 47,2 | 50,8 | 54,5 | 58,5 | 62,6 | 68,0 | 73,4 |
| 14,5 | — | 34,9 | 37,6 | 40,5 | 43,7 | 47,1 | 50,6 | 54,6 | 58,6 | 62,9 | 67,3 | 74,1 | 78,9 |

Примечания.
1. а — меньшая сторона сечения; в — большая сторона сечения.
2. Расчетные сечения даны с учетом закругления углов поперечных сечений.

Таблица 3

**Двухсторонняя толщина изоляции обмоточных проводов, в мм**

| Марка провода | Круглые провода | | | | | | | | | | | Прямоугольные провода | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | при диаметре голого провода, мм | | | | | | | | | | | при меньшей стороне сечения голого провода, мм | | |
| | 0,05—0,09 | 0,10—0,19 | 0,20—0,25 | 0,27—0,29 | 0,31—0,35 | 0,38—0,49 | 0,51—0,69 | 0,72—0,96 | 1,00—1,45 | 1,50—2,10 | 2,26—5,20 | 0,83—1,95 | 2,1—3,8 | 4,1—5,5 |
| ПЭЛШО | 0,07 | 0,075 | 0,09 | 0,10 | 0,105 | 0,11 | 0,115 | 0,125 | 0,135 | 0,155 | — | — | — | — |
| ПЭЛБО | — | — | 0,125 | 0,155 | 0,16 | 0,165 | 0,17 | 0,18 | 0,21 | 0,21 | — | — | — | — |
| ПБО | — | — | 0,10 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,14 | — | 0,14 | 0,175 | 0,23 |
| ПБД | — | — | 0,19 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,27 | 0,27 | 0,33 | 0,27 | 0,33 | 0,44 |
| пэл, пэт | 0,015 | 0,02 | 0,025 | 0,04 | 0,04 | 0,04—0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07—0,08 | 0,08—0,1 | 0,1 | — | — | — |
| ПЭВ-1 | 0,025 | 0,025—0,03 | 0,03—0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04—0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07—0,08 | — | — | — | — | — |
| ПЭВ-2 | 0,03 | 0,03—0,04 | 0,045 | 0,06 | 0,06 | 0,06—0,07 | 0,07—0,08 | 0,09 | 0,1—0,11 | 0,11—0,13 | — | — | — | — |
| ПЭТСО | — | — | — | — | — | 0,20 | 0,20 | 0,22 | 0,22 | 0,24 | — | — | — | — |
| ПЭТКСО | — | — | — | — | — | 0,16 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,20 | — | — | — | — |
| ПСД, ПСДК | — | — | — | — | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,27 | 0,27 | 0,33 | 0,27 | 0,33 | 0,40 |
| ПДА | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |



пазов. У двухслойных обмоток сторона катушки занимает полпаза. Катушка располагается так, что сторона *2* помещается в нижней части паза, а другая сторона *1* в верхней части паза (рис. 16). Общее число катушек двухслойной обмотки равно числу пазов

Катушки, намотанные из круглого провода, называются проволочными, или мягкими, а катушки, изготовленные из прямоугольного провода, — жесткими. Часто в обмотках крупных машин каждый виток состоит из двух стержней. Такие обмотки называются стержневыми.

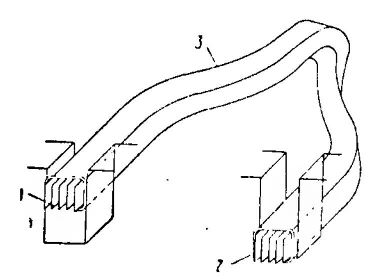



Рис. 16. Катушка двухслойной обмотки

## ПРОВОЛОЧНЫЕ КАТУШКИ СТАТОРА

Проволочные катушки всегда состоят из нескольких витков провода и наматываются на станках. Для намотки проволочных катушек применяют изолированные провода различных марок. Таким образом, изоляция между витками создается изоляцией самого провода.

В трехфазных обмотках несколько катушек, расположенных рядом, соединяются последовательно и образуют катушечную группу. Чтобы не иметь лишних паек, катушки наматывают одним непрерывным проводом, для чего делают намоточные шаблоны с несколькими желобками. Число катушек, наматываемых непрерывным проводом, определяется числом пазов на полюс и фазу, о котором будет сказано в главе VIII.

Для намотки мягких катушек двухслойных обмоток служат металлические или деревянные шаблоны. На рис. 17, *а* показан шаблон для намотки катушечных групп, а на рис. 17, *б* — катушечная группа из трех катушек. Шаблон состоит из двух боковин *1* и *2*, сердечника *3*, головки *4*, клина *5* и пластины *6*. Сердечник и боковины скреплены между собой винтами или шурупами. Головка может перемещаться между боковинами по оси шаблона, так как соединена с боковиной *1* направляющей, которая в сечении имеет форму трапеции. В торцовые части сердечника и головки для отделения одной катушки от другой

вставлены пластины 7 с прорезями для переходных витков, соединяющих катушки между собой. При помощи пластины 6 шаблон устанавливается на шпиндель намоточного станка.

При намотке катушек между сердечником 3 и головкой 4 вставляется клин 5. В таком положении периметр шаблона равен периметру катушки. При вынутом клине головка сдвигается к сердечнику, периметр шаблона уменьшается и намотанные катушки легко снимаются с шаблона. Перед началом намотки конец провода закрепляют за ушко клина 5 и вводят через прорезь

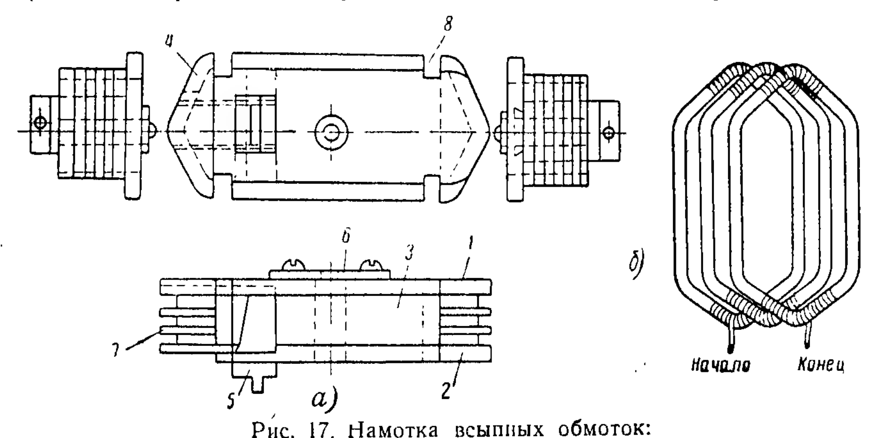



Рис. 17. Намотка всыпных обмоток:
*а* — шаблон для намотки, *б* — катушечная группа

пластины 7 в желобок шаблона. После намотки первой катушки провод через прорезь пластины переводят во второй желобок шаблона и мотают вторую катушку, а потом таким же образом третью. После намотки каждой катушки ее перевязывают лентой в двух местах с каждой стороны. Для просовывания ленты в шаблоне предусмотрены пазы 8. Затем вынимают клин, сдвигают головку шаблона и снимают намотанную катушечную группу. Число оборотов шаблона при намотке должно соответствовать числу витков в катушке, указанному в чертеже.

Если по расчету диаметр провода превышает 2,5 *мм*, катушку наматывают в два параллельных провода меньшего диаметра. Благодаря этому удается избежать применения слишком толстых проводов, которые трудно наматывать и укладывать в пазы.

Площадь сечения круглого провода равна 0,785 $d^2$, откуда видно, что сечение провода зависит от квадрата диаметра. Поэтому при замене одного толстого провода двумя более тонкими диаметр должен быть уменьшен не в два раза, а в $\sqrt{2}$, т. е. в 1,41 раза. Например, если по расчету диаметр провода должен быть 3,05 *мм*, то вместо него надо взять два параллельных провода диаметром 3,05 : 1,41 = 2,1 *мм*. При замене одного провода тремя параллельными проводами надо диаметр заменяемого провода разделить на $\sqrt{3} = 1{,}73$. Если катушка наматывается



в несколько параллельных проводов, то провода на шаблон подаются сразу с двух или трех барабанов в зависимости от числа параллельных проводов.

Мягкие катушки машин малой и средней мощности, закладываемые в полузакрытые пазы, изготовляют из обмоточных проводов марок ПБД или ПЭЛБО. Для машин мощностью до 10 *квт* применяют также провод марки ПЭВ-2.

Обмотки из мягких катушек, вкладываемые через прорезь полузакрытого паза, называются всыпными. Провода всыпных обмоток вкладываются в паз по одному, поэтому катушка не может быть заранее изолирована. В качестве изоляции проводов от стенок паза применяют гильзы, которые вставляют в паз перед укладкой обмотки (рис. 18). Обычно гильза состоит из трех слоев. Наружный слой изоляции, прилегающий к стенке паза, делается из электрокартона, затем идет слой лакоткани и, наконец, еще один слой электрокартона. В этой гильзе роль основного изоляционного материала играет лакоткань как материал с большой электрической прочностью. Наружная полоска электрокартона предохраняет лакоткань от прокалывания острыми выступами на стенках пазов, а внутренняя полоска электрокартона предохраняет лакоткань от смятия проводами обмотки. Поэтому края ее выступают из паза и при укладке проводов защищают их изоляцию от повреждения о зубцы статора. После укладки обмотки выступающие края электрокартона срезают и загибают внутрь паза. Между двумя катушками в паз вставляется прокладка из электрокартона.

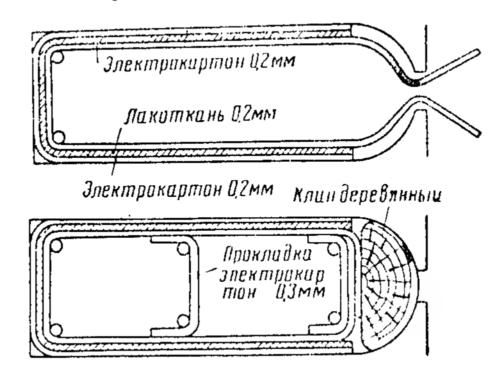



Рис. 18. Полузакрытый паз статора

Трехслойная гильза занимает в пазу много места. Поэтому в новых машинах стали применять гильзу, склеенную из триацетатной пленки и электрокартона (пленкоэлектрокартон). В такой гильзе отсутствуют воздушные прослойки между отдельными слоями изоляции. Благодаря этому улучшается теплопроводность изоляции и обмотка лучше охлаждается.

Перед началом обмотки надо знать, уложатся ли провода в паз, т. е. хватит ли им места. Для этого, вычисляют коэффициент заполнения паза по следующей формуле:

$$к_з = N \cdot \frac{d^2_{из}}{F_п},$$

где $d_{из}$ — диаметр изолированного провода в *мм*;
$N$ — число проводов в пазу;
$F_п$ — площадь паза, за вычетом поперечного сечения гильзы, прокладки между катушками и деревянного клинка в *мм*$^2$.

Для того чтобы провода уложились в паз, коэффициент заполнения не должен превышать 0,7. Пропитку всыпных обмоток производят вместе со статором после укладки катушек в пазы

## ПРОВОЛОЧНЫЕ КАТУШКИ ЯКОРЯ

В машинах постоянного тока всыпные обмотки применяют только для якорей малых машин мощностью до 5 *квт*.

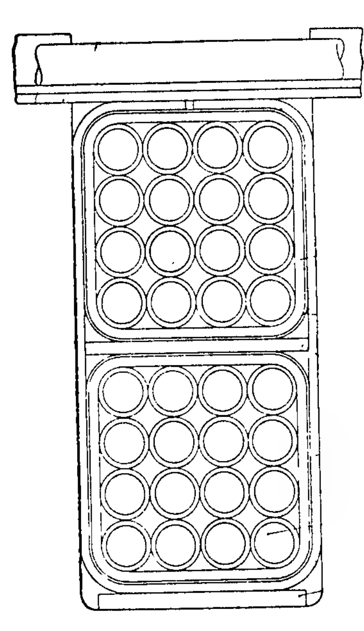


Рис. 19. Разрез паза якоря

Пазы якорей большей мощности имеют прямоугольную форму и называются открытыми. Если при этом катушка наматывается из круглого провода, то она также относится к проволочным катушкам. В открытом пазу провода обмотки располагаются правильными рядами. Для удобства укладки обмоток на якоре обычно по ширине паза располагают выводные концы катушки, идущие к коллекторным пластинам, а по глубине паза располагают витки катушки. На рис. 19 катушка обмотки имеет четыре выводных конца и четыре витка. Так как обмотка двухслойная, то в пазу помещаются стороны двух катушек. В якорных обмотках машин постоянного тока число проводов, которыми наматывается катушка, зависит от числа коллекторных пластин, приходящихся на один паз. Например, если число пазов 24, а число коллекторных пластин 96, то катушку надо мотать четырьмя проводами. Таким образом, каждая катушка будет состоять из четырех элементов, которые называются *секциями обмотки*. Если при этом ток надо пропустить по двум параллельным проводам, то число проводов, которыми наматывается катушка, удвоится и будет равно 8. Число оборотов шаблона определяется числом витков катушки. Число витков указывается в чертеже или в обмоточной записке.

Перед намоткой катушек бухту с проводом перематывают на деревянные барабаны, с которых будет идти провод при намотке



катушки на шаблон. Шаблон для якорных катушек имеет удлиненную форму и носит название *лодочки* (рис. 20, *а*). Для снятия катушки с шаблона надо отвернуть гайку и отделить от сердечника *1* съемную щеку *2*. Чтобы сечение катушки сохраняло прямоугольную форму, пазовые части катушек огибают скобоч-

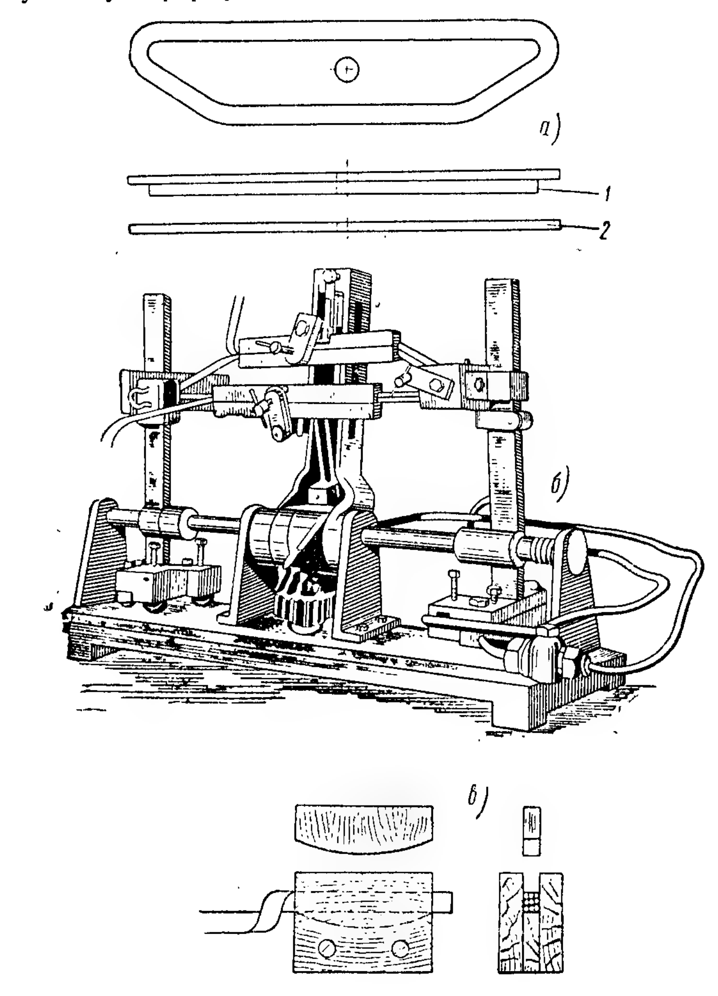



Рис. 20. Приспособления для изготовления катушки якоря:
*а* — шаблон для намотки, *б* — растяжка катушки на станке, *в* — шаблон для выгибания лобовых частей

ками из жести, прокладывая между ними и катушкой полоски электрокартона для защиты изоляции проводов. Перед укладкой катушек в пазы якоря скобочки снимаются. Лобовые части катушки после снятия с шаблона перевязывают лентой в нескольких местах.

После снятия катушки с шаблона надо пазовые части развести на такое расстояние, чтобы их можно было вложить в пазы. Для этого производят растяжку катушек на специальных станках. Раньше эти станки делались с ручным приводом. В настоящее время для увеличения производительности труда растяжные станки делают с приводом от пневматических или гидравлических цилиндров. На рис. 20, *б* показан процесс растяжки катушки на станке.

У катушки, снятой с растяжного станка, пазовые части расположены в параллельных плоскостях. Между тем на якоре они должны быть расположены под углом, соответствующим углу между двумя пазами, в которые вкладываются стороны катушки, а лобовые части катушки должны располагаться по винтовым линиям. Для придания катушке окончательной формы лобовые части выгибают в специальных шаблонах (рис. 20, *в*). Катушка в готовом виде показана на рис. 38.

После окончательной формовки катушки проходят двухкратную пропитку для защиты изоляции от действия влаги, повышения ее теплостойкости и теплопроводности.

Затем облуживают концы катушек, которые будут впаиваться в прорези петушков коллектора, и изолируют выводные провода, выходящие из катушки, дополнительно лентой поверх изоляции провода. Для того чтобы сечение катушки сохраняло свою форму, провода в пазовых частях промазывают лаком и прессуют между стальными планками.

При открытой форме паза катушки изолируют до укладки их в пазы якоря. Для машин напряжением до 220 *в* пазовая часть катушки оплетается лентой из лакоткани (см. рис. 19) толщиной 0,2 *мм* один раз внахлестку. При этом с каждой стороны катушки получается толщина изоляции, равная двойной толщине ленты. Для предохранения лакоткани от механических повреждений пазовая часть катушки поверх лакоткани оплетается одним слоем тафтяной ленты в стык. Этой же лентой лобовые части и головки катушки оплетают внахлестку. Чтобы не повредить изоляцию катушки, в пазы вкладывается гильза, согнутая из электрокартона толщиной 0,3 *мм*.

Для проверки возможности укладки катушек в пазы составляют следующую таблицу:

**Ширина паза**

| | |
|---|---|
| Проводники катушки марки ПБД 1,45/1,72 | 1,72×4=6,88 |
| Лента из лакоткани толщиной 0,2 *мм* | 0,2 ×4=0,8 |
| Тафтяная лента толщиной 0,25 *мм* | 0,25×2=0,5 |
| Гильза из электрокартона толщиной 0,3 *мм* | 0,3 ×2=0,6 |
| Утолщение катушки при пропитке | 0,5 |
| | 9,28 *мм* |

Для того чтобы катушки такого размера свободно входили в пазы, ширина паза должна быть не менее 9,5 *мм*.



*Глава IV*

# ТИПЫ ПОЛЮСНЫХ КАТУШЕК И ИХ ИЗОЛЯЦИЯ

## ТИПЫ ПОЛЮСНЫХ КАТУШЕК

Назначение полюсных катушек заключается в том, что при протекании по ним постоянного тока в электрической машине создается магнитный поток. Полюсные катушки применяются в машинах постоянного тока и в синхронных машинах. Первые устанавливаются на неподвижных полюсах, привернутых к станине, а вторые укрепляются на полюсах вращающегося ротора

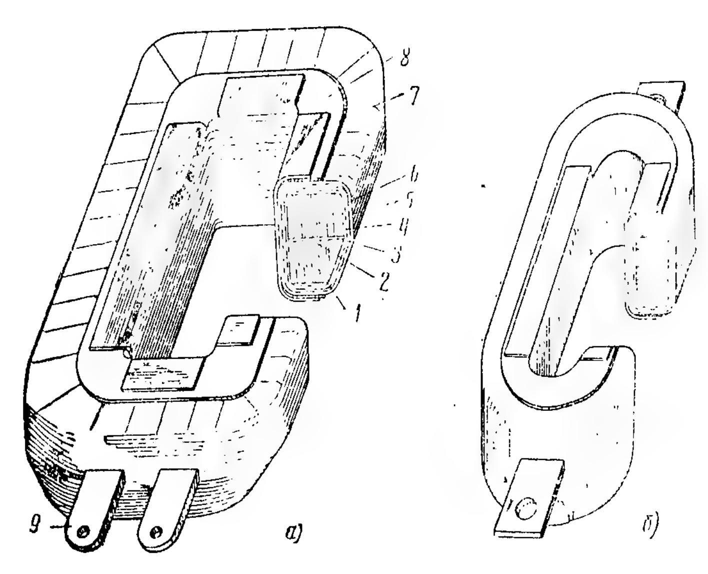



Рис. 21. Типы полюсных катушек:
*а* — шинная катушка, намотанная плашмя, *б* — катушка, намотанная на ребро

По конструкции и способам изготовления полюсные катушки разделяются на проволочные и шинные. Проволочные наматывают из изолированного провода, а шинные — из голых медных шин. Шинные катушки применяют в тех случаях, когда через них должен проходить большой ток. Это имеет место в машинах постоянного тока с последовательным возбуждением, в катушках дополнительных полюсов, которые всегда соединяются последовательно с якорем, и в синхронных машинах средней и большой мощности.

На рис. 21, *а* показана шинная катушка главного полюса машины постоянного тока. Правая сторона катушки разрезана

так, чтобы было видно, как располагаются шины в сечении катушки. Катушка состоит из двух слоев медных шин *1*. Витки каждого слоя разделены полосами *2* из асбестовой бумаги, которая наматывается одновременно с медными шинами в процессе намотки катушки на станке (см. рис. 23). Между слоями вложена прокладка *3* из твердого миканита. Вокруг сечения катушки намотана изоляция, состоящая из скрепляющей витки миткалевой ленты *4*, микаленты *5* и киперной ленты *6*, которая служит для защиты микаленты от механических повреждений. Во внутреннее окно катушки вставлен каркас *7*, согнутый из тонкой листовой стали толщиной 0,5 *мм*. Кромки каркаса отогнуты на торцовые части катушки и изолированы от них фланцами *8* из электрокартона. Выводные пластины *9* служат для подключения к катушке соединительных проводов.

В катушке, показанной на рис. 21, *а*, медные шины изгибаются в углах вокруг широкой стороны сечения. Такая намотка называется намоткой плашмя. Существует другой способ намотки шинных катушек, когда шина изгибается вокруг узкого ребра; такая намотка называется намоткой на ребро. На рис. 21, *б* показана катушка, намотанная на ребро. В разрезе видно расположение медных шин. Намотка катушек на ребро применяется для дополнительных полюсов машин постоянного тока и для обмоток возбуждения синхронных машин.

Проволочные катушки наматывают из изолированного провода круглого или прямоугольного сечения. Они применяются для главных полюсов машин постоянного тока с параллельным возбуждением и имеют большое число витков. Намотка производится правильными рядами. Для этой цели намоточные станки оборудуют подвижным суппортом, который в процессе намотки передвигает провод вдоль шаблона вперед и назад. Через несколько рядов в углы катушки вкладывают прокладки из тонкого электрокартона, которые служат для предохранения от замыкания между витками. В прокладках на специальных станочках пробивают отверстия, чтобы при пропитке катушки они не препятствовали протеканию лака. Катушки из очень тонкого провода (диаметр меньше 0,5 *мм*) наматывают без правильной укладки рядов проволоки.

На рис. 22, *в* показана в разрезе проволочная катушка машины постоянного тока, надетая на полюс. Полюс собран из штампованных листов *1*, скрепленных после прессовки заклепками *2*. Катушка устанавливается на выступы расширенной части полюса *3*, называемой полюсным башмаком. Между сердечником полюса *6* и внутренним окном катушки должен быть зазор для надевания катушки на полюс без больших усилий. Чтобы предохранить изоляцию катушки от повреждений, сердечник полюса обертывают листовым электрокартоном *10*. Между полюсным башмаком и нижним основанием катушки ставится штампован-



ный из ли вой стали фланец *4*, который поддерживает торцовые части катушки.

Для лучшего охлаждения воздухом катушка разделена на отдельные секции *11*, между которыми установлены распорки *5*. Каждая секция катушки изолирована лентой и пропитана в асфальтовом лаке. Чтобы катушка не передвигалась вдоль сердечника полюса, сверху катушки кладут прокладки *7* из изоляционного материала, которые зажимаются между катушкой и станиной *8*. Полюса прикреплены к станине болтами *9*. В машинах со смешанным возбуждением на полюс надевают две катушки: параллельного и последовательного возбуждения.

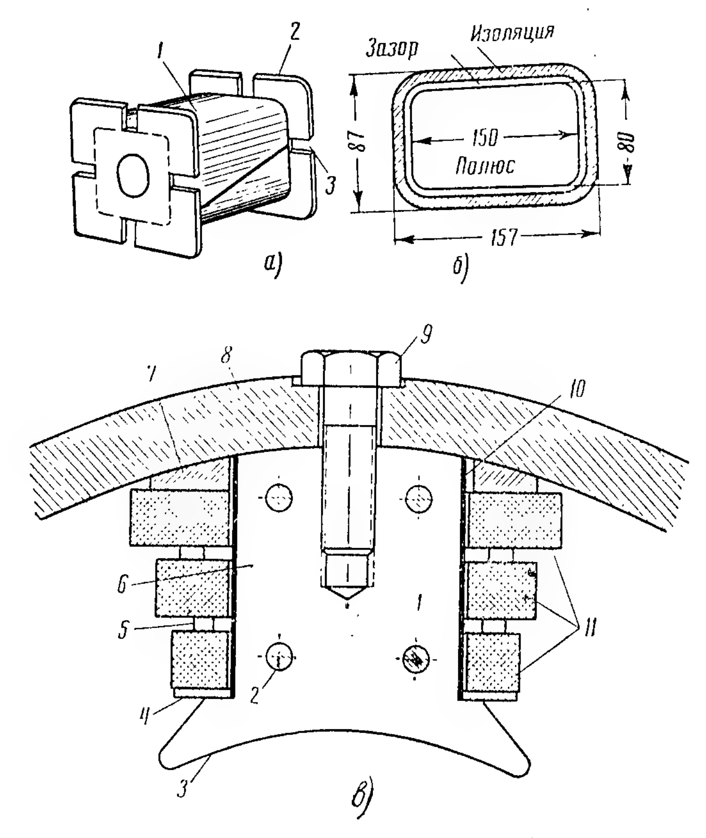



Рис. 22. Шаблон для намотки полюсной катушки:
*а* — устройство шаблона, *б* — размеры шаблона, *в* — катушка, надетая на полюс

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАМОТКИ И ИЗОЛИРОВКИ КАТУШЕК

Намотка полюсных катушек производится на намоточных станках. Каждый станок должен иметь счетчик оборотов, который указывает число витков в катушке. Катушки наматываются

на шаблоны, которые делаются из стали, и только для мелких катушек применяют деревянные шаблоны.

Шаблон (рис. 22, *а*) состоит из сердечника *1*, контур которого соответствует внутреннему окну катушки, и двух фланцев *2*. Размеры сердечника определяются размерами полюса с прибавлением двухстороннего зазора между катушкой и полюсом и двойной толщины изоляции катушки. Если, например, сердечник полюса имеет размеры $80 \times 150$ *мм*², зазор между катушкой и полюсом 1 *мм*, а толщина изоляции катушки 2,5 *мм*, то размеры сердечника будут (рис. 22, *б*):

меньшая сторона $80 + 2 \times 1 + 2 \times 2{,}5 = 87$ *мм*;
бóльшая сторона $150 + 2 \times 1 + 2 \times 2{,}5 = 157$ *мм*.

Для удобства выемки из намотанной катушки сердечник шаблона составляется из двух клинообразных брусков *1*, скрепленных фланцами *2*. Во фланцах делают вырезы *3* для закладывания перед намоткой катушки кусков ленты, закрепляющей витки катушки перед снятием с шаблона, чтобы сечение катушки сохраняло приданную ему при намотке форму.

Процесс намотки катушки производится в следующей последовательности. Намотчик устанавливает шаблон на шпиндель намоточного станка и закрепляет на нем конец провода, который сматывается с барабана, надетого на вращающуюся стойку. Для создания натяжения провода при намотке его пропускают через ряд стальных роликов. Затем обмотчик ставит счетчик оборотов станка на 0 и пускает станок. После того как счетчик оборотов покажет требуемое число витков, намотчик останавливает станок, завязывает концы лент, скрепляющих катушку, открывает шаблон и снимает с него катушку. В современных станках имеются автоматические остановы после намотки требуемого числа витков.

На рис. 23 показан намоточный станок для намотки шинных катушек. Намоточный шаблон *1* укрепляют на стойке, привинченной болтами к планшайбе *2* станка. Включение станка производится при помощи ножной педали. Медная шина *4* идет со стойки и проходит через зажимное приспособление *5*, укрепленное на суппорте станка. Под суппортом помещается катушка *7* с асбестовой лентой, которая наматывается на шаблон вместе с медной шиной и создает изоляцию между витками. При намотке шинных катушек суппорт в процессе намотки остается неподвижным. Если же наматывается проволочная катушка, то суппорт совершает поступательное движение вперед и назад, укладывая провод правильными рядами.

Для намотки катушек на ребро применяют станки другой конструкции, так как при гибке полосы на ребро требуется затратить значительно большее усилие, чем для гибки плашмя. Поэтому станки для намотки на ребро оборудуют более мощными электродвигателями и механизм их делают более прочным. Кроме того, при намотке на ребро медная шина должна быть направлена так, чтобы она шла по касательной к окружности изгиба. Поэтому нельзя заставить шаблон вращаться вокруг своего центра. Он должен поворачиваться вокруг двух центров и совершать поступательные движения. Таким образом, станок для намотки на



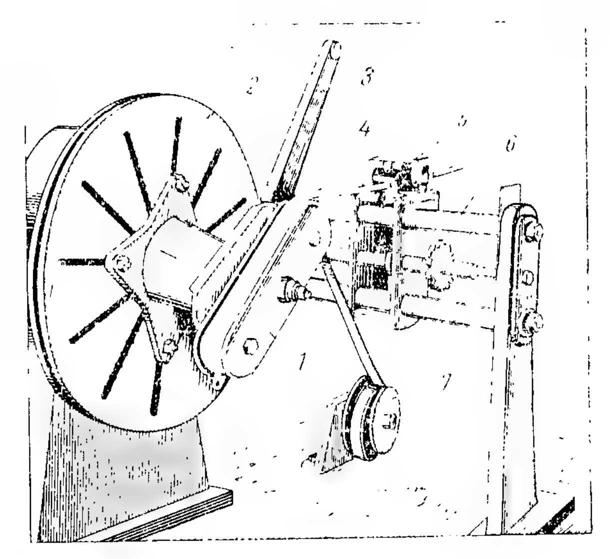


Рис. 23. Станок для намотки шинных катушек

ребро имеет прерывистое движение, состоящее из двух вращательных и двух поступательных движений (рис. 24, *а*).

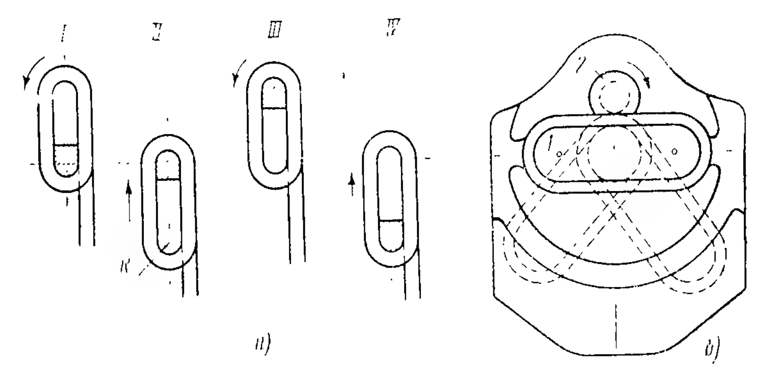


Рис. 24. Намотка шинных катушек на ребро:
*а* — схема намотки, *б* — схема станка

При намотке одного витка шаблон совершает следующие движения:

1. Шаблон начинает поворачиваться вокруг центра заштрихованной стороны шаблона и приходит в положение *II*.

2. Шаблон движется поступательно до тех пор, пока незаштрихованная сторона придет в положение заштрихованной (положение *III*).

3. Шаблон поворачивается на 180° и приходит в положение *IV*.

4. Шаблон совершает поступательное движение и возвращается в положение *I*.

Оригинальная конструкция станка для намотки катушек на ребро предложена С. К. Черток и внедрена на заводе «Электросила» (рис. 24, *б*). Шаблон *1* привинчен к шестерне овальной формы, которая сцеплена с цилиндрической шестеренкой *2*. Благодаря этому шаблон совершает поступательные и вращательные движения непрерывно. Это позволило значительно повысить производительность труда. Для намотки катушек разной длины шаблон раздвигается.

Шинные катушки небольшого сечения можно наматывать на ребро и на станке, показанном на рис. 23. Для этого у него имеется направляющий рычаг *3*, который на рисунке показан в откинутом виде. При намотке катушек на ребро он качается вокруг валика *6* и направляет шину при загибке ее на углы шаблона.

В процессе намотки на ребро в местах изгиба изменяется форма сечения меди. Из прямоугольника оно превращается в трапецию. В катушках крупных машин не удается восстановить прямоугольное сечение шины при помощи прессовки. Поэтому утолщенные сечения катушки сфрезеровывают. На это расходуется много времени и уменьшается сечение катушки за счет снятия стружки. Рационализаторы завода «Электросила» предложили применять сечение меди, у которого на внутренней стороне заранее сняты фаски в процессе ее волочения на кабельном заводе. Теперь утолщение не стало выступать за размеры прямоугольника и необходимость фрезерования отпала.

При загибке медной шины на ребро с малым радиусом на наружном закруглении могут образоваться трещины. Во избежание появления трещин радиус загиба во внутреннем угле катушки (рис. 24, *а*) необходимо выбирать в зависимости от размеров сечения шины. Наименьший допустимый радиус можно определить по формуле

$$R = \frac{0{,}05 \cdot в^2}{a}\ мм,$$

где $a$ — толщина шины в *мм*;

$в$ — ширина шины в *мм*.

Например, для медной шины с размерами сечения 3×40 *мм*² наименьший допустимый радиус загиба будет:

$$R = \frac{0{,}05 \times 40^2}{3} = 27\ мм.$$



В катушках, намотанных на ребро, изоляция между витками представляет собой прокладки из листового асбеста, которые вкладывают между витками после намотки катушек.

При намотке катушек на станках надо следить за тем, чтобы пальцы руки не были прижаты наматываемой шиной или проводом. При намотке катушек из тонкого провода на быстроходных станках имеется опасность повреждения глаз намотчика при обрыве провода. Поэтому перед шаблоном ставится защитное стекло, которое нельзя отводить в сторону при работе станка.

Полюсные катушки после намотки обматывают лентами по всему контуру. В низковольтных машинах это делается для скрепления витков, а в машинах на повышенное напряжение и с противосыростной изоляцией — для создания непрерывного слоя изоляции на поверхности катушек. Исключением являются шинные катушки, намотанные на ребро, которые обычно устанавливаются на полюсах без наружной изоляции.

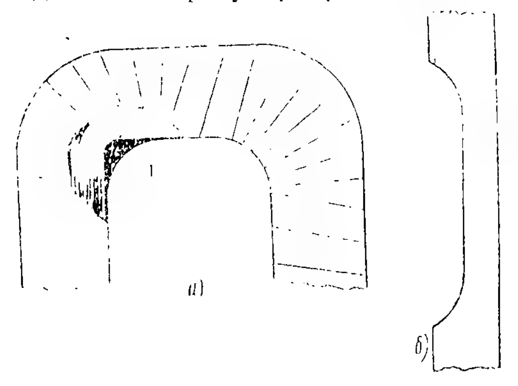



Рис. 25. Утолщение изоляции в углах катушки:

*а* — форма утолщения, *б* — вырез в ленте

Изолировка катушек является очень трудоемкой операцией, особенно в тех случаях, когда катушку требуется изолировать несколькими слоями ленты. В процессе изолировки ролик с лентой надо проводить через внутреннее окно катушки, а для этого приходится при каждом обороте ленты два раза перекладывать ролик из одной руки в другую.

При изолировке катушек лентой в углах катушки образуются утолщения изоляции *1* (рис. 25, *а*). Это объясняется тем, что во внутреннем закруглении, длина которого значительно меньше внешнего, виткам ленты не хватает места, и они, накладываясь в несколько слоев, образуют утолщение. На внешнем закруглении нужно наматывать ленту внахлестку, чтобы на поверхности катушки не оставалось мест, не покрытых изоляцией. При изолировке катушки несколькими слоями ленты для уменьшения утолщения делают вырезы в ленте при каждом обходе лентой внутреннего угла катушки (рис. 25, *б*). Углы сердечников полюсов необходимо сфрезеровывать, чтобы катушку с утолщенной в углах изоляцией можно было надеть на полюс.

Тяжелую катушку в процессе изолировки кладут на верстак, подложив под нее деревянные прокладки, чтобы под катушкой образовался промежуток для пропускания ролика с лентой. Но

при подходе к прокладке в процессе обхода катушки приходится приподнимать катушку и передвигать прокладку. Для катушек весом в несколько десятков килограммов на это приходится затрачивать большие усилия и дополнительное время.

Для устранения этих трудностей применяют стойки для изолировки тяжелых катушек (рис. 26). Стойка *1* имеет четыре лапы *4*, на которые кладется катушка *5*. Лапы при помощи роликов опираются на обод кольца *3*. Все четыре лапы шарнирно соединены с крестовиной, которая может вращаться на шарикоподшипниках *2*. В одном месте в кольце сделан вырез *6*, в который проваливается лапа при вращении катушки. При изолировке катушки изолировщик стоит против выреза в кольце и, обматывая катушку лентой, постепенно поворачивает ее вместе с лапами. Так как при подходе к вырезу в кольце лапы поочередно откидываются, отпадает необходимость приподнимать катушку. Вырез в кольце сделан с наклонными краями, поэтому после прохода выреза лапы опять поднимаются и подпирают катушку.

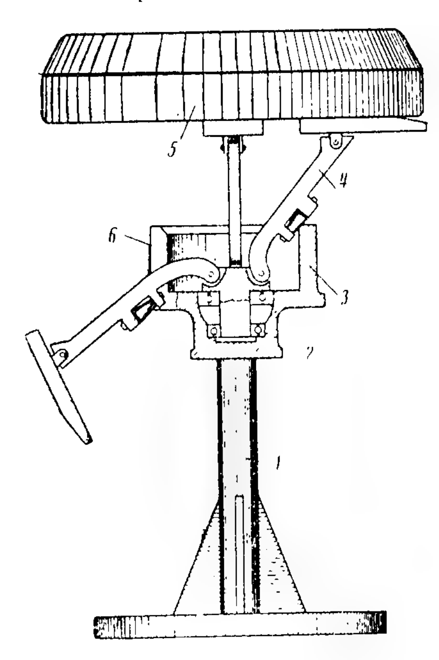



Рис. 26. Стойка для изолировки катушек

Для полюсных катушек малых машин при массовом производстве применяются изолировочные станки (рис. 27, *а*). Катушку кладут на столик *1* и включают станок, поворачивая катушку поочередно всеми четырьмя сторонами. При работе станка вокруг катушки вращается разрезное кольцо *2*, наматывая ленту вокруг сечения катушки *3*. На рис. 27, *б* показана схема работы станка. Лента с ролика *4* проходит через направляющие ролики *5*, цилиндрический нож *6* и попадает на разрезное кольцо станка *2*, на поверхности которого помещаются ролики *7*. Конец изоляционной ленты закрепляется на катушке *3*, которая вводится в середину кольца через прорезь. При вращении кольца лента будет одновременно наматываться на обод кольца и на изолируемую катушку. После того как на кольце образуется необходимое количество ленты для изолировки катушки, ее перерезают поворотом цилиндрического ножа *6*, как показано на рис. 27, *в*, и продолжают изолировку катушки.

После изолировки катушки поступают в пропитку, о которой будет сказано в главе VI.



Обычно на заводе все катушки наматывают в одном направлении, например по часовой стрелке. В машине разная полярность полюсов получается благодаря тому, что по одной катушке ток течет по часовой стрелке, а по другой катушке — против часовой стрелки. Это осуществляется путем соответствующего соединения катушек. Обычно при соединении катушек в последовательную цепь соединяют проводом одноименные выводы соседних катушек, например конец с концом, а начало с началом.

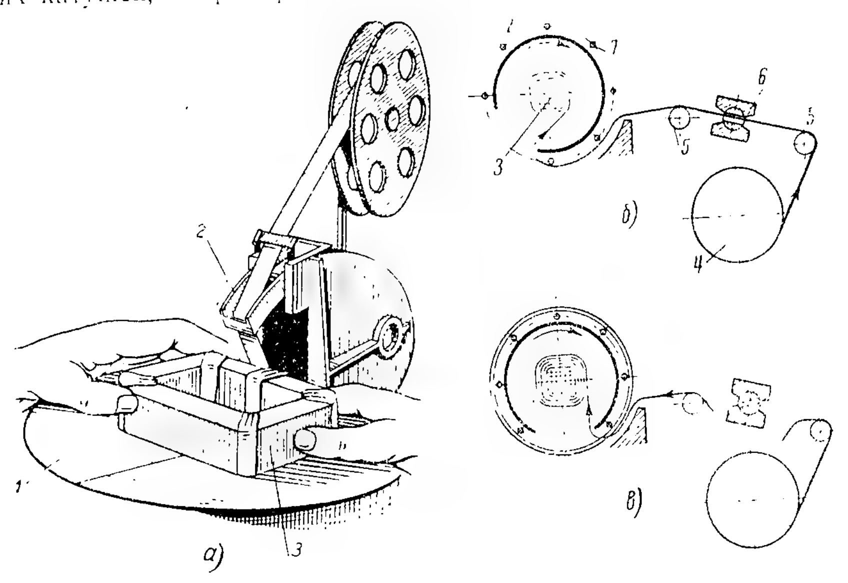



Рис. 27. Изолировка катушек:

*а* — изолировочный станок, *б* — схема работы станка, *в* — перерезание ленты

Вследствие этого в одной катушке ток течет в направлении намотки, а в соседней — против направления и образуются разные полярности полюсов.

Чтобы не ошибиться при соединении катушек, выводы их маркируются. Около начала катушки красной краской ставится буква *н*, а около конца — буква *к*.

Процесс изготовления проволочной катушки состоит из следующих операций:

1. Установить шаблон на станке, закрепить на шаблоне конец провода, намотать катушку, отрезать конец провода, перевязать катушку лентой и снять с шаблона.
2. Проверить катушку на отсутствие междувитковых замыканий.
3. Припаять выводные пластинки.
4. Изолировать катушку миткалевой лентой внахлестку.
5. Пропитать катушку в асфальтовом лаке с предварительной и последующей сушкой.

6. Вторично проверить катушку на отсутствие междувитковых замыканий.

7. Изолировать катушку лентой из лакоткани и киперной лентой внахлестку.

8. Вторично пропитать катушку в асфальтовом лаке с предварительной и последующей сушкой.

9. Покрыть поверхность катушки электроэмалью и просушить.

10. Протереть тряпкой, смоченной бензином, выводные пластинки для очистки их от лака.

11. Нанести красной краской обозначения выводов.

12. Измерить сопротивление катушки и снова проверить ее на отсутствие междувитковых замыканий.

13. Сдать катушку на склад.

## *Глава V*

# ЖЕСТКИЕ КАТУШКИ СТАТОРА, РОТОРА И ЯКОРЯ

### КАТУШКИ СТАТОРА

Проволочные катушки статора из круглых проводов применяются для машин переменного тока мощностью до 100 *квт*. Для машин большей мощности применять круглый провод нельзя, так как ток, протекающий по проводам обмотки, большой и требует применения прямоугольных проводов большого сечения. Обмотки из проводов прямоугольного сечения нельзя делать всыпными. Поэтому изменяется и форма паза. Для машин средней мощности применяют полуоткрытую форму паза (рис. 28, *а*). Полуоткрытый паз отличается от полузакрытого тем, что его прорезь располагается сбоку и по ширине она несколько больше половины ширины паза. В паз полуоткрытой формы вкладывают катушки, намотанные из проводов прямоугольного сечения и изолированных до укладки в пазы. Порядок укладки показан на рис. 28, *а*.

Для машин большой мощности применяется открытая форма паза, и в каждом пазу помещаются две катушки (рис. 28, *б*). Процесс изготовления жестких статорных катушек состоит из намотки их на шаблон, растяжки, изолировки, пропитки и прессовки. Для высоковольтных машин изоляция самого провода является недостаточной. Поэтому приходится каждый виток дополнительно обматывать микалентой. Раньше этот процесс выполнялся вручную после намотки катушки. Для этого приходилось раздвигать витки и изолировать их вручную. На заводе



«Электросила» разработан и внедрен станок для механической намотки витковой изоляции без применения ручного труда. Для этого пришлось изменить промежуточную форму катушки, которая раньше наматывалась на шаблон удлиненной формы, называемый *лодочкой*, а теперь стала наматываться на цилиндрический барабан. Изменение формы намоточного шаблона потребовалось для того, чтобы достигнуть равномерной скорости движения провода при намотке на шаблон. Схема изолировочного станка

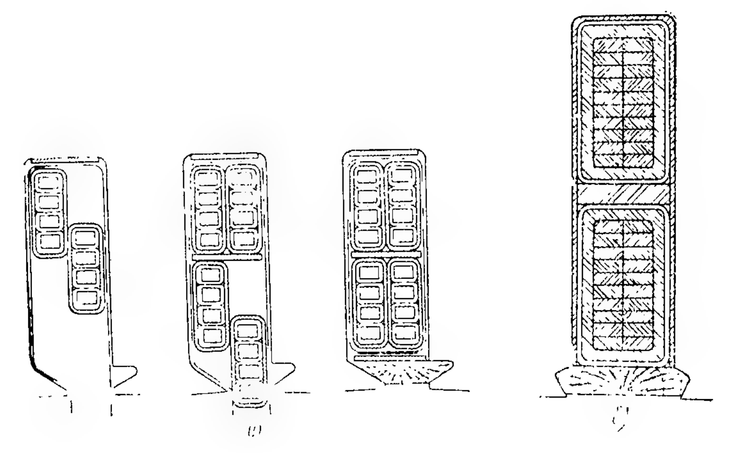



Рис. 28. Формы пазов статора:
*а* — полуоткрытый, *б* — открытый

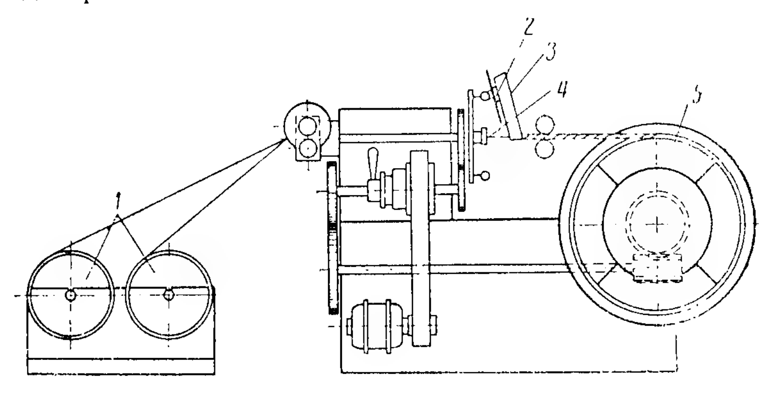



Рис. 29. Схема изолировочного станка

показана на рис. 29. Провод, сматываемый с барабанов *1*, проходит через отверстие в центре направляющей втулки *4*, вокруг которой вращается *механический обмотчик 2* с роликом ленты *3*. В то время как провод наматывается на приемный барабан *5*, механический обмотчик накладывает на провод слой микаленты,

являющийся межвитковой изоляцией. Полученная круглая заготовка растягивается на специальном растяжном станке. Для изоляции от корпуса вокруг сечения катушки наматывается несколько слоев микаленты. Эта операция также производится на изолировочных станках.

В процессе растяжки катушки не получают тех точных размеров, которые необходимы для укладки в пазы, так как катушки обладают большой упругостью, а лобовые части в процессе растяжки ничем не формуются. Пазовые части катушки вследствие разбухания изоляции и неплотностей между витками не имеют точных размеров, соответствующих размерам паза. Поэтому жесткие катушки в процессе их изготовления проходят операции прессовки пазовых и рихтовки лобовых частей. В качестве привода к прессам для катушек машин средней мощности используются пневматические цилиндры, а для катушек машин большой мощности — гидравлические цилиндры.

Процесс прессовки пазовых частей заключается в том, что катушка нагревается при давлении и затем охлаждается без снятия давления. При нагреве связующие вещества лаков, которыми пропитана катушка, размягчаются и заполняют поры изоляции, а при охлаждении затвердевают и скрепляют провода обмотки.

На рис. 30 показан пресс для пазовых частей с пневматическим приводом, состоящий из станины, верхнего *1* и двух боковых цилиндров *5* и *6*. После растяжки катушки проходят прессовку в этом прессе. Внутрь катушки вставляется средний стержень *3*, а снаружи два боковых стержня *2*. Закладываемые в пресс катушки *4* разделяются стальными прокладками. Прессовка производится одновременно двумя боковыми и одним верхним пневматическими цилиндрами, в которые поступает сжатый воздух. Для нагрева служит водяной пар, пропускаемый по трубкам, а для охлаждения — холодная вода.

Во время работы на прессах для избежания ожога рук следует пользоваться рукавицами.

Для укладки катушек в пазы статора необходимо, чтобы их пазовые части были расположены под углом друг к другу, равным углу между пазами, в которые вкладываются стороны катушки. При растяжке пазовым частям придается только приблизительно правильное угловое положение. Окончательная формовка катушки производится в рихтовочном приспособлении. На рис. 31 показано рихтовочное приспособление с пневматическим зажимом пазовых частей. Пазовые части катушки *4* зажимаются между деталями *1*, *2*, *3* и запираются крюком *5*. После чего производится рихтовка лобовых частей по размерам приспособления при помощи обколачивания их деревянным молотком.

При пропитке катушек электроизоляционные лаки не заполняют воздушных прослоек между проводами и изоляционными материалами, что снижает электрическую прочность и теплопроводность изоляции. Поэтому для катушек электрических машин



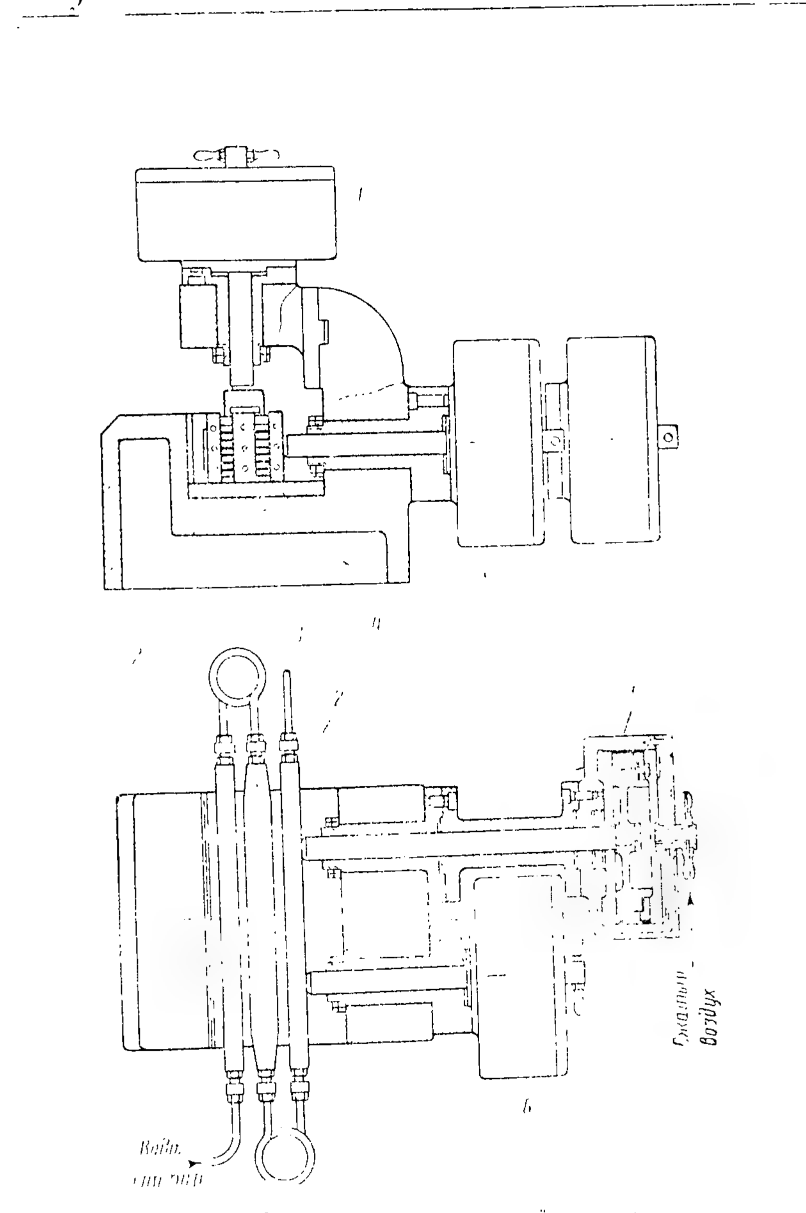



Рис. 30. Пресс [illegible]

напряжением 3000 *в* и выше с непрерывной изоляцией из микаленты применяется компаундирование в битумной массе. Для того чтобы масса заполнила все воздушные промежутки и проникла в поры изоляции, перед компаундированием применяется вакуумная сушка, а компаундирование производят при давлении 5—7 *ат*. Оно повторяется дважды: первый раз после растяжки катушек, а второй раз — после наложения корпусной изоляции.

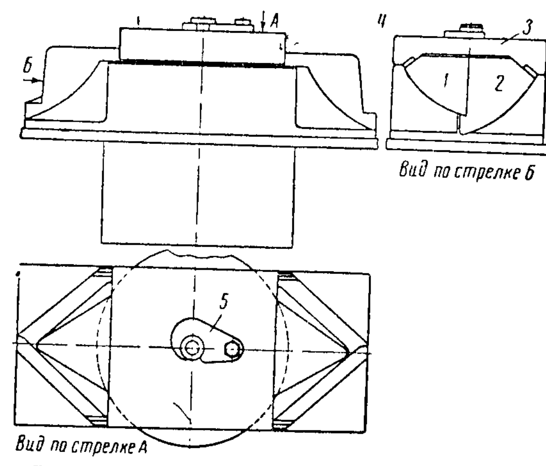


Рис. 31. Приспособление для рихтовки катушки

Технологический процесс изготовления статорной катушки высоковольтной машины состоит из следующих операций:

1. Намотка заготовки с одновременным наложением витковой изоляции.
2. Обмотка заготовки лентой под опрессовку.
3. Растяжка заготовки.
4. Первая опрессовка в гидропрессах.
5. Подготовка к первой компаундировке.
6. Первая компаундировка.
7. Снятие временной ленты и обмотка лентой под вторую прессовку.
8. Вторая прессовка в гидропрессах.
9. Растяжка лодочки в катушку.
10. Рихтовка катушки на шаблоне.
11. Наложение корпусной изоляции.
12. Подготовка ко второй компаундировке.
13. Вторая компаундировка.
14. Снятие временной ленты, калибровка и чистка концов.

Для изолировки катушек низковольтных машин применяют легкие настольные станки. Принцип устройства такого изолировочного станка показан на рис. 32. Ролик с лентой *7*, укрепленный на вращающемся кольце *2*, обегает вокруг сечения изолируемой катушки *8*, которой от руки сообщается равномерное поступательное движение. Для ввода катушки в корпусе станка *4* и во вращающемся кольце *2* сделаны прорези, которые в положении, изображенном на рисунке, совпадают. Кольцо приводится во вращение ремнем *5* круглого сечения, который от шкива электродвигателя проходит через направляющие ролики *1*, *6* и охватывает кольцо *2* с задней стороны, чтобы не пересекать прорезей для ввода катушки. Сторона катушки кладется на неподвижный упор *3* поддерживающего рычага. Эффективность применения

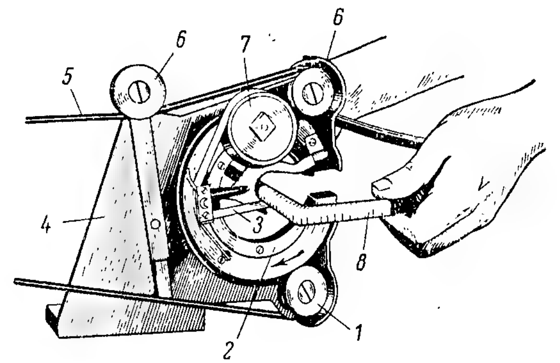


Рис. 32. Изолировочный станок

станка зависит от длины изолируемой катушки. При коротких катушках применение станка может оказаться невыгодным по сравнению с ручной изолировкой.

## КАТУШКИ РОТОРА

Асинхронные двигатели мощностью до 100 *квт* изготовляются, как правило, с короткозамкнутыми роторами, обмотки которых выполняются заливкой пазов ротора расплавленным алюминием. Этот процесс выполняется в литейных цехах и никакого отношения к работам, входящим в обязанности обмотчика, не имеет. Поэтому заливка роторов алюминием в этой книге не рассматривается.

Однако небольшая часть двигателей изготовляется с фазным ротором и контактными кольцами. Роторы этих двигателей имеют обмотку из изолированных проводов. Асинхронные двигатели с фазным ротором применяются в тех случаях, когда надо получить большой пусковой момент путем включения в цепь ротора при пуске добавочного сопротивления, а также когда надо регулировать скорость вращения ротора. Так, например, крановые двигатели трехфазного тока выпускаются обычно с фазными роторами.

До последнего времени обмотки роторов делились на два типа: проволочные и стержневые. Первые применялись для дви-

гателей небольшой мощности (до 5—10 *квт*) при полузакрытых пазах ротора. Обмотка выполнялась по типу всыпной обмотки статора — из заранее намотанных катушек или же наматывалась проводом непосредственно в пазы ротора. Такие обмотки были малопроизводительными и требовали крепления лобовых частей путем привязки их вручную бечевкой к стальным кольцам. В единой серии асинхронных двигателей мощностью от 5 до 100 *квт* впервые была применена роторная обмотка жесткого типа из катушек, намотанных проводом прямоугольного сечения (рис. 33). Для уменьшения числа паек вся катушечная группа наматы-

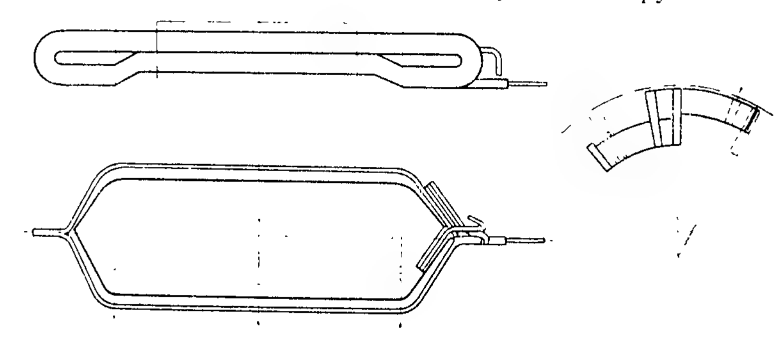


Рис. 33. Катушки обмотки ротора

вается непрерывным проводом. В пазу провода́ лежат в один слой, что обеспечивает хорошее охлаждение их. Лобовые части обмотки бандажируются проволочными бандажами.

В двигателях большей мощности применяются стержневые обмотки. Ввиду того, что форму стержней и процесс их гибки можно объяснить только в связи со схемами обмоток, они будут рассмотрены в главе XVII.

### КАТУШКИ ЯКОРЯ

Проволочные катушки якоря применяются для машин постоянного тока мощностью до 10—15 *квт*. В машинах большей мощности они заменяются обмотками из жестких катушек, изготовленных из прямоугольного провода. Жесткие обмотки якоря можно разделить на два типа: многовитковые и одновитковые. Процессы изготовления многовитковых и одновитковых катушек совершенно различны как по производственным операциям, так и по оборудованию и специальностям рабочих. Намотчики наматывают многовитковые катушки на шаблоны на намоточных станках, а одновитковые катушки слесари-медники выгибают на гибочных приспособлениях.

Намотка многовитковых катушек обмотки якоря из прямоугольного провода мало чем отличается от намотки проволочных катушек. Однако имеется некоторая особенность как в конструк-



ции самой катушки, так и в устройстве намоточного шаблона. На продольном разрезе якоря (рис. 38) видно, что верхний слой выводных проводов катушки выходит из середины паза и для подвода к коллектору переплетается с верхним слоем лобовых частей. При проволочных катушках из круглого провода перегиб выводных концов выполняется довольно просто, так как круглый провод можно гнуть в любом направлении. Но при прямоугольной форме провода выгибать выводные концы катушки становится трудно. При этом углы сечения провода могут продавливать изоляцию соседних проводов. Для устранения этих трудно-

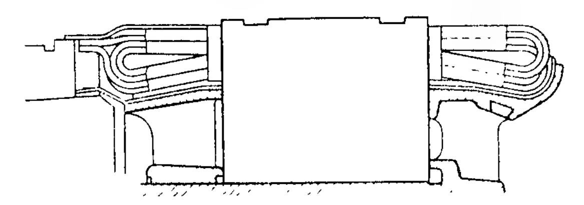


Рис. 34. Якорная катушка с двойной головкой

стей применяются катушки, у которых верхний слой выводных концов выходит поверх лобовых частей (рис. 34). Такое расположение их достигается тем, что со стороны, противоположной коллектору, витки катушки переплетаются и образуется так называемая *двойная головка* катушки. Переплетение витков катушки достигается путем применения намоточного шаблона с двойными желобками.

Изготовление одновитковых катушек будет описано в главе XVIII, так как они имеют много общего со стержневыми обмотками якоря.

## *Глава VI*

## ПРОПИТКА ОБМОТОК

### ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ЛАКИ

При изготовлении различного рода обмоток очень важное значение имеют процессы сушки и пропитки, благодаря которым изоляция получает требуемые от нее качества. Хлопчатобумажная изоляция до пропитки имеет очень низкие изоляционные свойства, так как она легко поглощает влагу из воздуха, поэтому в увлажненном виде такая изоляция имеет низкое сопротивление. При помощи же пропитки хлопчатобумажные мате-

риалы получают высокие изоляционные свойства и даже после пребывания в помещении с повышенной влажностью воздуха они сохраняют высокое сопротивление изоляции. Наглядным примером может служить лакоткань, которая выдерживает на пробой 30 000 *в* на 1 *мм* толщины, в то время как хлопчатобумажная ткань, служащая исходным материалом при изготовлении лакоткани, очень гигроскопична и имеет пробивное напряжение 2000 *в* на 1 *мм* толщины.

В зависимости от назначения и размеров машины обмотки ее проходят пропитку в различных стадиях изготовления. Так, например, обмотки малых и средних машин изготовляются из непропитанного провода и подвергаются пропитке вместе с сердечником статора или ротора после укладки в пазы. Исключение составляют машины с противосыростной изоляцией, у которых пропитываются и катушки в процессе их изготовления, и обмотанные сердечники. Обмотки крупных высоковольтных машин пропитываются или компаундируются в процессе изготовления катушек, а после укладки в пазы покрываются лишь пленкой покровного лака или эмали.

Назначение пропиточных лаков состоит в том, чтобы заполнить поры в изоляции и сделать ее негигроскопичной. Покровные лаки и эмали создают на поверхности обмотки пленку, защищающую ее от загрязнения и разъедающего действия различных веществ.

Лак состоит из твердого вещества, которое называется телом лака, пленкообразующих масел, растворителя и сиккатива. Для асфальтовых лаков телом лака служит асфальтовая смола.

Назначение масла в лаке состоит в том, чтобы при высыхании образовывалась упругая пленка. В качестве растворителей для разжижения лака применяют бензин, уайт-спирит, толуол и др. Сиккативами называют химические вещества, ускоряющие процесс сушки.

Наиболее употребительные сорта изоляционных лаков следующие:

№ 458 — пропиточный черный масляно-битумный лак быстрой горячей сушки. Пленка лака хорошо противостоит действию влаги, но не маслостойка. Этот лак широко применяется для пропитки изоляции электрических машин.

№ 460 — близок по свойствам к лаку № 458, но дает более эластичную и более влаго- и нагревостойкую пленку. Он применяется в основном как покрытие поверх лака № 458 в тех случаях, когда требуется получить водостойкую изоляцию.

№ 447 — один из наиболее употребительных пропиточных лаков. По свойствам он является промежуточным между лаками № 460 и 458.

№ 462 — черный масляно-битумный лак холодной сушки. Применяется как покровный, дающий влагостойкое и маслостойкое покрытие.



№ 4[illegible] - черный масляно-битумный лак; служит для клейки миканита и обеспечивает длительное состояние гибкости.

ЭФ-3 и ЭФ-5 — кремний-органические лаки, обладающие высокой влагостойкостью и нагревостойкостью (до 200°). По своим свойствам мало отличаются друг от друга, но пленка лака ЭФ-5 более длительно сохраняет клейкость и эластичность при воздействии повышенной температуры.

СПД — серая эмаль печной сушки. Применяется для покрытия подвижных и неподвижных частей электрических машин и дает стойкое против действия минеральных масел покрытие. Сушка эмали производится при 100—110°.

СВД — серая эмаль воздушной сушки. Применяется для наружного покрытия частей машин. Сушка производится при комнатной температуре.

ПКЭ — кремний-органическая эмаль печной сушки. Применяется для наружного покрытия обмоток электрических машин. Обладает повышенной маслостойкостью и теплостойкостью. Сушка производится при 180°.

№ 225 — компаундная масса для компаундировки статорных обмоток и полюсных катушек машин постоянного тока.

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОПИТКИ И СУШКИ

Пропитка обмоток в зависимости от ее характера и размеров машины может производиться тремя способами: окраска кистью, покрытие пульверизатором и погружение в лак. Первые два способа применяются главным образом для создания покровного слоя. Пропитка же изолированных деталей производится погружением горячей детали в пропиточный лак. Перед пропиткой и после пропитки необходимо произвести сушку деталей. Сушка перед пропиткой производится для того, чтобы испарилась влага, содержащаяся в пропитываемой изоляции. Без этого процесс пропитки не может быть хорошо выполнен, так как влага мешает проходить лаку в поры изоляции. При сушке после пропитки из лака испаряются жидкие растворители.

Оборудование пропиточной мастерской состоит из сосудов для погружения деталей в лак, сушильных шкафов и печей и специального оборудования для компаундировки.

Баки для пропитки представляют собой сварные сосуды из листов толщиной от 3 до 8 *мм*. Баки должны обогреваться для поддержания постоянной температуры лака. Кроме того, в пропиточной должны быть приборы для измерения температуры (термометры), удельного веса жидкости (ареометры) и вязкости лака (вискозиметры), а также посуда для смешивания и растворения лаков.

Помещения, где производится пропитка, относятся к категории взрыво- и пожароопасных, поэтому при их сооружении и эксплуатации должны быть приняты меры по обеспечению безопас-

ности работы. Пропиточные отделения оборудованы закрытыми баками, в которые при помощи насосов подается лак из специальных хранилищ, расположенных вне пропиточной, ниже уровня пола. Для удаления паров растворителя пользуются специальными отсосами.

На рис. 35 показано примерное устройство сушильного шкафа для якорей и катушек малых машин. Шкаф сделан с двойными стенками, пространство между которыми заполнено нетеплопроводным материалом. Боковые стенки бака *3* изолированы асбестом. На дне бака расположены змеевики *1*, которые обогреваются паром. Загрузка шкафа производится сверху. Для этого открывается крышка *5*, прижимаемая двумя «барашками» *4* и имеющая противовес *7*. Он удерживает крышку в поднятом состоянии. Термометр *6*, вставленный в крышку бака, служит для контроля температуры. Для удаления влаги имеется выходная труба *2*, через которую производится отсасывание паров.

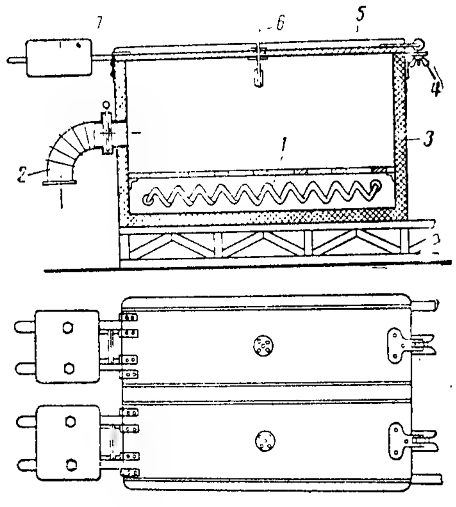


Рис. 35. Сушильный шкаф

В последнее время находит широкое применение способ сушки с помощью инфракрасных лучей. В качестве источника инфракрасных лучей применяют специальные электрические лампы накаливания. Эти лампы отличаются от осветительных ламп меньшей отдачей света и большей отдачей тепловых лучей. Установка для сушки якорей, осуществленная на одном из заводов, представляет камеру из белой жести, по всей поверхности которой вставлены лампы. Торцовые стенки камеры сделаны в виде дверей. Сверху имеется вытяжная труба для удаления паров влаги. Якоря укладывают на подвижную тележку, на которой их вкатывают в печь. Температура в камере регулируется количеством включенных ламп. Сушка в таких камерах производится быстрее и с меньшим расходом энергии, чем в камерах с электрическим или паровым нагревом.

При пропитке обмотанных статоров и роторов изоляционный лак прилипает к металлическим частям деталей (валу, станине) и на снятие его затрачивается много времени и обтирочных материалов. В пропиточном цехе завода «Динамо» приняты меры для снижения этих расходов производства. Там имеются специальные пропиточные баки. Один из таких баков показан на рис. 36.



В дне пропиточного бака *7* для роторов сделана труба, в торец которой упирается втулка ротора. Торец статора перекрыт столом *6*, на обточенную часть которого он устанавливается, и поэтому внешняя поверхность статора в процессе пропитки остается сухой.

В результате этого лака для пропитки тратится меньше и снижается его непроизводительный расход.

Недельный запас лака хранится в резервуаре *1*, находящемся в изолированном помещении. В нем производится составление лака и доливка растворителя до определенной степени вязкости

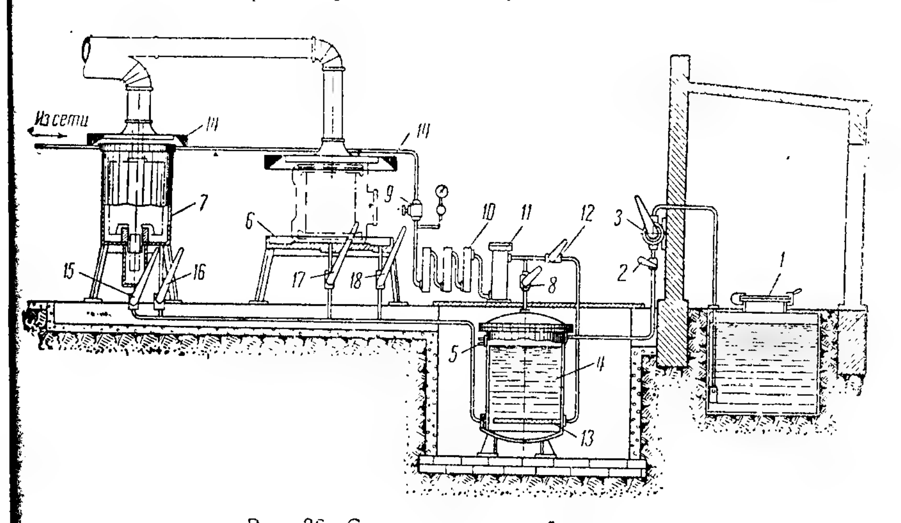


Рис. 36. Схема пропиточной установки

В рабочий бак *4* лак перекачивается при помощи ручного насоса *3*. В момент перекачки краны *8* и *12* должны быть закрыты а краны *2* и *5* открыты. Кран *5* служит указателем уровня лака в рабочем баке. Сжатый воздух подается из сети под давлением 2 *ат*. Это давление поддерживается на данном уровне редуктором *9* и контролируется по манометру. Воздух очищается в отстойнике *10* и фильтре *11*. Для перемешивания лака воздух подается в кольцо *13* с мелкими отверстиями.

Для производства пропитки сжатый воздух пускается в бак *4* через кран *8*, который для удобства расположен в непосредственной близости от пропиточных баков. Для пропитки статора открывается кран *17* и уровень лака доводится до верхней кромки станины; лак выдерживается до прекращения выделения пузырьков и спускается обратно в бак *4*. Для пропитки роторов лак впускается краном *16* в пропиточный бак *7*. Краны *15* и *18* служат для спуска лака, который просачивается при пропитке через неплотности в пропиточных баках. Для отсоса паров растворителя служат вытяжки *14*.

Полюсные катушки и катушки статоров высоковольтных машин подвергаются компаундированию в специальных котлах (автоклавах) с двойными стенками, между которыми помещается теплоноситель, обеспечивающий при компаундировании температуру 170°. Общее расположение агрегатов установки для компаундирования показано на рис. 37.

В качестве компаундов применяются специальные массы из битумов, высыхающего масла, канифоли. Отсутствие летучих растворителей в компаундной массе обеспечивает получение непористого слоя изоляции, обладающего высокой влагостойкостью и хорошими электроизолирующими свойствами. Компаундная

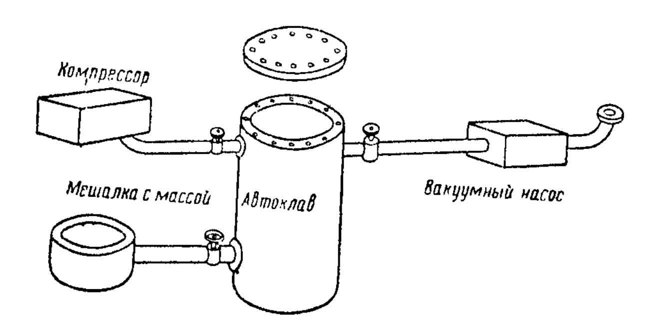



Рис. 37. Схема установки для компаундирования

масса создает монолитную изоляцию и надежно заполняет неплотности между слоями изоляционных материалов и отдельными проводами обмотки. Так как компаундная масса является более густой, чем пропиточные лаки, для проникновения ее в поры изоляции и в промежутки необходимы специальные режимы, отличающиеся от режимов пропитки.

Процесс компаундирования полюсных катушек состоит из следующих операций:

1. Загрузить катушки в проволочную сетку.
2. Погрузить катушки в автоклав и прикрыть крышку автоклава, не затягивая ее болтами.
3. Сушить катушки в автоклаве в течение 3 час.
4. Плотно затянуть болтами крышку автоклава.
5. Создать в автоклаве вакуум и сушить катушки в течение 2 час.
6. Впустить в автоклав битумную массу из мешалки.
7. Впустить в автоклав инертный газ.
8. Поднять давление в автоклаве до 6 *ат* и выдержать в течение 5 час.
9. Выпустить битумную массу из автоклава в мешалку, продуть массопровод и дать стечь массе в течение 0,5 часа.
10. Открыть крышку автоклава, вынуть сетку с катушками.



11. Снять с неостывших катушек временную ленту с налипшей компаундной массой.

При нагреве до 105° компаундная масса размягчается и от нее при дальнейшем нагреве начинают отделяться капли. Во избежание разбрызгивания компаундной массы под действием центробежной силы при вращении ротора или якоря компаундирование не применяется для вращающихся обмоток.

*Глава VII*

# ЧЕРТЕЖИ ОБМОТОК

## ИЗОБРАЖЕНИЕ ОБМОТОК НА ЧЕРТЕЖАХ

Обмотки электрических машин изображаются на бумаге в виде чертежей и схем.

Чертежи обмоток в основном выполняются по тем же правилам, которые существуют для чертежей механических деталей машин. На чертежах обмоток даются размеры катушки, форма и размеры лобовых частей, расположение проводов в пазу, укладка лобовых частей на обмоткодержателях и т. д. Однако в чертежах обмоток имеются некоторые условности и отступления от правил проекционного черчения, которые надо знать, чтобы правильно понимать чертежи обмоток.

На чертежах паза в разрезе, которые всегда делаются в увеличенном масштабе для упрощения вычерчивания, нижняя линия, представляющая собой окружность статора, дается в виде прямой линии (см. рис. 28).

Ввиду того, что толщина изоляции обычно очень мала по сравнению с размерами обмоточной меди, число слоев ленты не разделяется линиями, а изображается одной полоской (см рис. 19). Линиями отделяются только разные изоляционные материалы, наложенные на катушку, и то лишь в чертежах, начерченных в крупном масштабе. Число слоев одной и той же ленты на чертежах указывается словами

На чертежах обмоток обычно не указываются так называемые обмоточные данные катушки, т. е. размеры обмоточной меди, число витков, вес меди и сопротивление катушки. На таблице чертежа (рис. 38) сказано, что медь катушки надо применить по обмоточной записке № 326. Почему же в чертежах обмоток не указываются такие важные данные об обмотках? Эти данные приведены в обмоточных записках, которые поступают в цех вместе с чертежами. Обмоточные данные машины в процессе

производства изменяются чаще, чем другие размеры. Это может быть вызвано или изменением технических условий на данную машину или отсутствием на некоторый период необходимых размеров обмоточной меди и заменой ее медью с другими размерами. Вот для того, чтобы упростить проведение всех таких изменений, обмоточные данные выделены в обмоточные записки. Эти записки имеют небольшие размеры и посылаются в производство в меньшем количестве экземпляров, чем чертежи. Поэтому в них легче производить текущие изменения, касающиеся обмоточных данных электрической машины.

Для выполнения обмотки обмотчик должен одновременно с чертежом получить в раздаточной и обмоточную записку.

## ЧТЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Чертежи обмоток являются более сложными, чем чертежи механических деталей, и для того, чтобы в них хорошо разбираться, нужен большой навык. На чертежах обмоток обычно не дается полный вид статора или ротора, а приводятся только отдельные разрезы и детали, необходимые для укладки обмотки.

Для лучшего усвоения чертежей обмоток рекомендуется изучение их производить следующим образом: взять чертеж обмотки статора, ротора или якоря и подойти с ним к готовому изделию. Сопоставляя изображение чертежа с действительными формами изделия, можно быстрее научиться понимать чертежи обмоток. Чтобы иметь возможность видеть все элементы обмотки, желательно изучение чертежа производить над якорем или статором, обмотка которых еще не закончена. Это удобнее потому, что в полностью обмотанном изделии многие детали закрыты лобовыми частями обмоток и не доступны для осмотра.

Чтобы показать, как надо разбираться в чертеже, рассмотрим чертеж стержневой обмотки ротора, данный на рис. 39. В верхней части чертежа показан продольный разрез ротора. Средняя часть ротора начерчена с разрывом, чтобы иметь возможность более крупно показать лобовые части обмотки. Как видно из чертежа, стержни обмотки лежат в пазах сердечника ротора, у которого три крайние листа с каждого торца сделаны утолщенными и разных диаметров. Они располагаются ступенями, понижаясь по мере удаления от торца ротора. Пакет ротора надет на втулку и зажат между двумя чугунными нажимными шайбами. Нажимные шайбы заклинены на втулке при помощи шпонок квадратного сечения, вставленных в канавки, проточенные в нажимных шайбах и ребрах втулки. В торцах нажимных шайб сделаны канавки трапецеидальной формы для балансировочных грузов.

Все перечисленные детали поступают на обмотку ротора в собранном виде, поэтому на чертеже обмотки не указаны ни их размеры, ни материал, из которого они сделаны.

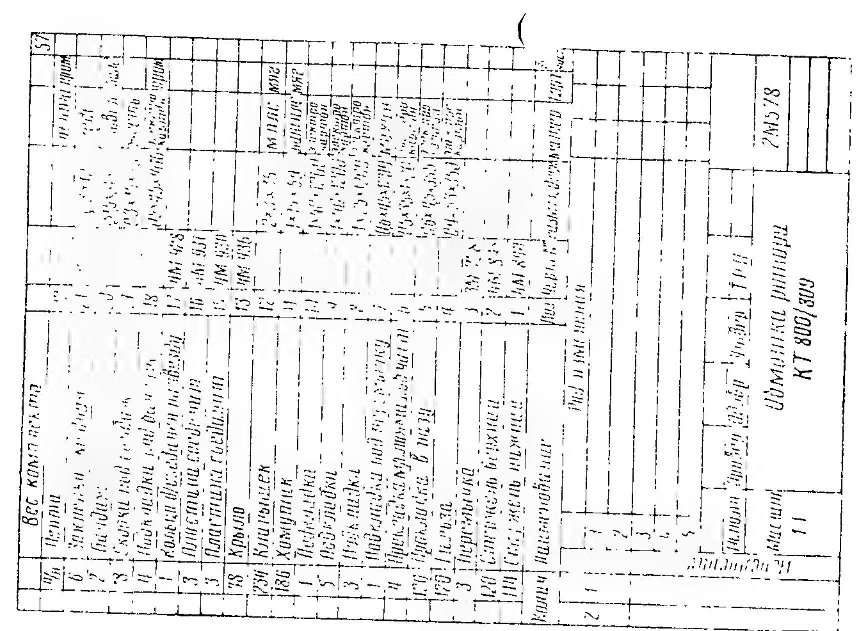
Чтобы узнать, какую форму имеют пазы ротора, стержни об-

Примечания:
1 Пазовые части изолировать лентой из лакоткани 1 раз вполнахлестку и полотняной лентой 1 раз встык.
2. Лобовые части изолировать полотняной лентой 1 раз вполнахлестку.
3 Катушки пропитать в лаке 447 1 раз до изолировки лакотканью и 1 раз после окончательной изолировки.

| № поз | Наименование | Кол | Материал | Размеры |
|---|---|---|---|---|
| 5 | Изоляция концов | 10 | Чулок | 2×10 |
| 4 | Изоляция головки | 1 | [illegible] | 0,4×25 |
| 3 | Изоляция | 1 | [illegible] | 0,2×20 |
| 2 | Изоляция | 1 | [illegible] | 0,2×25 |
| 1 | Медь катушки | 1 | [illegible] № 326 | |

Катушка обмотки якоря — 2МБ82

Рис. 38. Чертеж катушки якоря



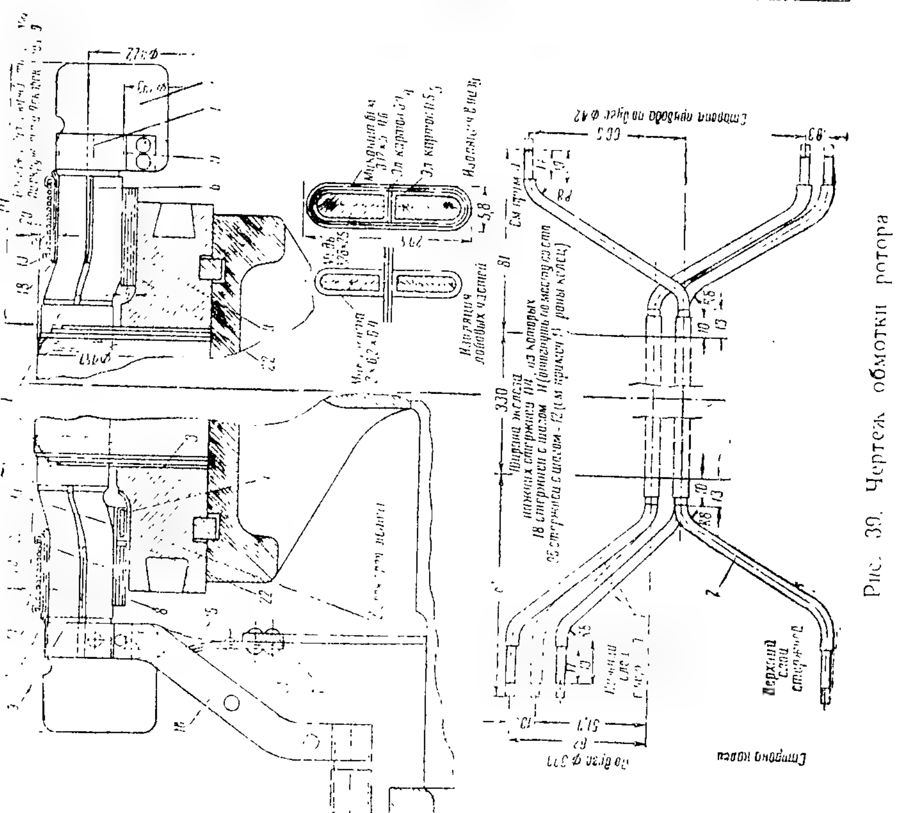


Рис. 39. Чертеж обмотки ротора

мотки и как они изолированы, надо обратиться к разрезу паза, который изображен под правой лобовой частью обмотки. Здесь мы видим два разреза. На правом разрезе показана укладка стержней в пазу, а на левом — лобовые части стержней. Изолировка и гибка стержней производится по отдельным чертежам на эти детали, поэтому разрезы даны только для того, чтобы показать, как стержни должны быть вставлены в пазы и как они изолированы от зубцов.

Прежде чем производить укладку стержней в пазы, надо вложить в пазы изоляционные гильзы. Как же узнать, из какого материала они сделаны и каковы их размеры? На разрезе паза и на продольном разрезе ротора гильзы обозначены цифрой *4*. Обратимся к таблице, которая расположена на правой стороне чертежа и называется спецификацией.

## СПЕЦИФИКАЦИЯ ЧЕРТЕЖА

Верхняя часть таблицы разбита на девять вертикальных столбцов и под ними написаны их обозначения. В двух левых столбцах ставится количество деталей. Таких столбцов два, потому что чертеж может быть выполнен сразу для двух обмоток, отличающихся только количеством деталей. В третьем столбце даны наименования деталей; в четвертом — порядковые номера деталей или позиций; в пятом — номера чертежей, по которым эти детали изготовлены; в шестом — размеры деталей; в седьмом и восьмом — материалы, из которых сделаны детали, и в девятом даны веса деталей.

Порядковые номера деталей в таблице расположены несколько необычно — снизу вверх. Это делается на чертежах для того, чтобы можно было в данный чертеж внести еще одну или несколько деталей, дав им следующие порядковые номера.

Прочтем горизонтальную строку в спецификации, имеющую порядковый номер *4*, и узнаем, что позиция *4* — это гильза; изготовляется она из электрокартона. Заготовка этой гильзы нарезается из электрокартона толщиной 0,4 *мм* и имеет ширину 63 *мм* и длину 350 *мм*. Таких гильз на ротор надо изготовить 120, по числу пазов.

На чертеже разреза ротора видно, что правая нажимная шайба до укладки обмотки должна быть изолирована. Изоляция нажимной шайбы обозначена позициями *9* и *22*. Обратимся снова к спецификации и из нее узнаем, что изоляция нажимной шайбы состоит из пяти прокладок промасленного электрокартона толщиной 1 *мм*, шириной 40 *мм* и длиной 1200 *мм*. Для скрепления прокладок из электрокартона служит промасленная лента (позиция *22*). На нажимную шайбу наматывается лента, под которую подкладывают прокладки из электрокартона. На чертеже указано, что общая толщина изоляции должна быть 6 *мм*.

Если теперь посмотрим на левую нажимную шайбу, то увидим, что изолировка ее производится несколько иначе. Сначала надо изолировать нажимную шайбу промасленной лентой (позиция *22*), затем вставить в пазы стержни с перемычками (позиция *3*). В спецификации указано, что перемычек между стержнями на роторе должно быть три и они изготовлены по чертежу 3М-728. В спецификации не указаны ни размеры, ни материал перемычек, так как они поступают на обмотку готовыми.

К каким стержням должны быть присоединены перемычки, на чертеже не указано. Это можно узнать из чертежа схемы обмотки.

После того как стержни, к которым присоединены перемычки, вложены в пазы, можно приступить к изолировке левой нажимной шайбы при помощи полос электрокартона (позиция *8*), скрепляемых промасленной лентой. Поверх изоляции шайбы и перемычки надо поставить одну прокладку (позиция *10*) из электрокартона толщиной 1 *мм*.

Теперь можно приступить к укладке верхних и нижних стержней в пазы. Верхние стержни и стержни, к которым присоединены перемычки, надо вкладывать в пазы со стороны контактных колец, т. е. слева, а нижние — со стороны привода, т. е. на чертеже справа.

Прямолинейные части стержней загибают на роторе по размерам, указанным внизу чертежа. Между лобовыми частями верхнего и нижнего слоев должны быть вложены прокладки (позиция *6*), которых всего в спецификации указано 4. Следовательно, их надо поставить по две с каждой стороны. Стержни обмотки должны быть скреплены скобами и пропаяны. Из спецификации (позиция *11*) узнаем, что скобы делаются из мягкой полосовой латуни толщиной 1 *мм*, шириной 15 *мм* и длиной 59 *мм*. Всего на ротор требуется 186 скоб.

Ввиду того, что стержни ротора разделены изоляцией, они не прилегают друг к другу. Поэтому в скобе между ними останутся пустые места, которые должны быть забиты клинышками (позиция *12*) из мягкой полосовой меди с размерами 2×3×15 *мм*.

Для охлаждения машины служат вентиляционные крылья, которые укрепляются вместо скобок на некоторых стержнях ротора. Крылья располагаются равномерно по окружности по 24 шт. с каждой стороны ротора и обозначены позицией *13*. Из спецификации узнаем, что эти крылья в количестве 48 шт. изготовляются по чертежу 4М-936.

На продольном разрезе ротора показано, что лобовые части стержней должны быть после укладки в пазы отогнуты вниз так, чтобы расстояние между верхней лобовой частью и окружностью ротора было 5 *мм*. Этот выгиб делается для того, чтобы бандажи лобовых частей не выступали за окружность ротора. Позиция *18* обозначает прокладку под бандаж, которая ставится в два слоя с каждой стороны и выполняется из промасленного



электрокартона толщиной 0,5 *мм*. Согласно позиции *27* для бандажей надо взять бандажную проволоку диаметром 1,5 *мм* и намотать по 20 витков с каждой стороны ротора. Бандажи скрепляют скобами (позиция *19*); их делают из жести толщиной 0,3 *мм*, располагая по 9 скоб с каждой стороны ротора.

Три вывода от обмотки ротора соединяют с контактными кольцами, а три других вывода соединяют в звезду при помощи колец (позиция *17*), изготовляемых по чертежу 4М-928. Соединение обмотки с кольцом производится при помощи трех соединительных пластин (позиция *16*).

Пластины прикрепляют к кольцу при помощи заклепок (позиция *21*), которые изготовляются по нормали К-7 и должны иметь размеры: диаметр 3 *мм*, длина 12 *мм*.

Что же представляет собой нормаль К-7? Нормаль — это тоже чертеж, но только выпущенный не для данной машины, а действующий и для других машин. Нормали выпускаются на крепежные детали (болты, гайки, шайбы, заклепки), обмоточные провода, изоляционные материалы и другие детали и сборочные узлы. Их разрабатывают в соответствии с Государственными общесоюзными стандартами (ГОСТ), но они содержат ограниченную номенклатуру деталей, размеров и сортов материалов. Если бы на заводе применялись все перечисленные в ГОСТ размеры и сорта деталей и материалов, то это затруднило бы планирование производства и техническое снабжение завода. При этом надо учитывать, что для заказа каждого материала существуют определенные минимальные нормы, что при большом сортаменте материалов ведет к загромождению складов остатками материалов, не находящих применения в производстве.

Нормализованные детали изготовляются с некоторым запасом, который по мере надобности пополняется. Поэтому, прочтя в спецификации чертежа ссылку на нормаль К-7, можно получить готовые заклепки на складе с указанными в спецификации размерами, а не тратить время на их изготовление.

На примере данного чертежа видно, что, зная правила составления спецификации, можно прочитать на чертеже все необходимые данные и выполнить обмотку, удовлетворяющую всем требованиям чертежа.

Между спецификацией и названием чертежа помещена табличка, имеющая 5 строк. В эту табличку вносятся изменения, которые происходят в процессе производства.

В эту таблицу могут быть внесены те или иные изменения, происходящие в процессе производства. Так, при уничтожении какой-либо позиции об этом делают запись в первой строке таблицы:

«Уничтожить позицию № ....»

Одновременно в спецификации чертежа вычеркивается эта позиция и ее обозначение на самом чертеже. Около изменения на чертеже ставят маленькую цифру 1, а в спецификации —

цифру 1 в кружочке, обозначающую порядковую строку таблицы изменения. Таким образом, хотя эта деталь и остается нарисованной на чертеже ротора, но с момента изменения чертежа на ротор не ставится. При последующих изменениях чертежа запись делают во второй, третьей и других строках таблицы, а в спецификации и на чертеже ставят соответственно цифры 2, 3 и т. д.

Чертежи имеют очень важное значение в производстве. Они требуются для выполнения любой детали и каждой операции. К ним надо относиться бережно. Ведь если плохо виден какой-нибудь размер (пятно на чертеже), то все детали по этому чертежу могут быть изготовлены неправильно и пойдут в брак. Категорически запрещается делать на чертежах какие-либо пометки или исправления. Если в процессе производства необходимо внести какие-нибудь изменения, то они делаются в конструкторском отделе на оригинале чертежа, выполненном на прозрачной бумаге (кальке). Затем с этого оригинала на светочувствительной бумаге отпечатывают новые копии, рассылают их по цехам, уничтожив старые копии. Плановым отделом даются специальные указания, как поступить с деталями, изготовленными по чертежу до его изменения.

## *Глава VIII*

# СХЕМЫ ОДНОСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

### СПОСОБЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ СХЕМ

На чертежах можно изобразить только отдельные части обмоток, например катушки, их укладку в пазы и укладку на обмоткодержателях. Что касается соединений между катушками обмотки, то их нельзя изобразить на чертежах, составленных по правилам проекционного черчения. Для этой цели служат *схемы обмоток*. Схема отличается от чертежа тем, что на ней элементы обмотки изображаются условными линиями, имеющими лишь приблизительное сходство с формой самих элементов. Все остальные детали, кроме проводов обмотки, обычно на схеме не показываются, чтобы не загромождать ее излишними изображениями, затрудняющими чтение схемы. Исключение составляют лишь такие детали, как выводные зажимы, контактные кольца, пластины коллектора, к которым присоединяются концы обмотки; эти детали изображаются на схеме условными знаками. Изображение их часто требуется для указания того места в машине, от которого обмотка должна начинаться.

При составлении схем допускается больше условностей, чем в чертежах обмоток. Например, если катушка намотана в несколько параллельных проводов, то на схеме она изображается одной линией, как и катушка, намотанная одним проводом.



Обычно катушка имеет несколько витков, на схеме же она изображается одной линией в виде замкнутой фигуры, напоминающей форму катушки, от которой ответвляются только выводные концы катушки (рис. 40).

Схемы обычно изображаются в одной проекции, а отличительные особенности верхних и нижних сторон катушек в пазах — различными линиями; например, верхние стороны проводятся жирными линиями, а нижние — тонкими. В обмотках машин трехфазного тока провода фаз также изображаются различными линиями — сплошной, пунктирной и штрихпунктирной (рис. 40).

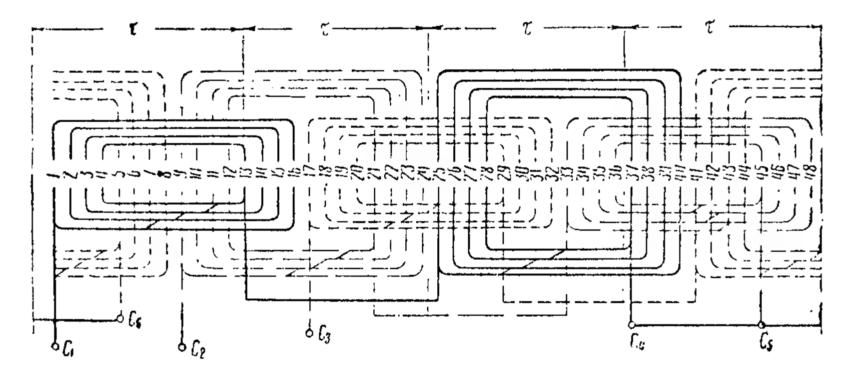



Рис. 40. Схема-развертка концентрической обмотки

Очень наглядными получаются трехфазные схемы, когда они вычерчены в три цвета, но ввиду того, что цвета не передаются при обычном способе светокопирования чертежей, цветные схемы можно делать только в одном экземпляре, а размножать путем повторного вычерчивания. Поэтому такие схемы делаются редко, только в учебных целях.

Умение разбираться в схемах обмоток является основой теоретического обучения обмотчика электрических машин, поэтому ниже приводятся подробный разбор общих правил построения схем и примеры их выполнения для различных типов обмоток машин трехфазного и постоянного тока. Для лучшего усвоения схем рекомендуется наряду с рассмотрением готовых схем вычерчивать их самостоятельно на бумаге.

Существует несколько способов изображения схем обмоток. Наиболее распространенным способом является развертка окружности статора или ротора на плоскость.

Чтобы представить себе такую схему, надо на внутреннюю поверхность статора положить полосу бумаги так, чтобы начало и конец полосы сходились в стык на одном из зубцов. Если бумажную полосу прижать рукой к поверхности статора, то на ней останутся отпечатки зубцов в виде темных полос с белыми про-

межутками между ними, против пазов статора. Чтобы получить развертку окружности статора, бумажную полосу надо вынуть из расточки статора и распрямить ее на столе, повернув кверху стороной с отпечатками зубцов и пазов. Если теперь в отпечатках пазов провести линии, они будут изображать провода, лежащие в пазах. Однако такая схема для крупной машины получилась бы очень большой и ею было бы неудобно пользоваться. Поэтому схему чертят в уменьшенном виде. В отличие от чертежей в схемах не руководствуются правилом пропорционального уменьшения всех элементов обмотки, т. е. схемы чертят, не пользуясь масштабом. Кроме того, чтобы не затемнять схему, на ней не изображают отпечатки зубцов, а провода обмотки изображают вертикальными линиями, расположенными на равном расстоянии одна от другой.

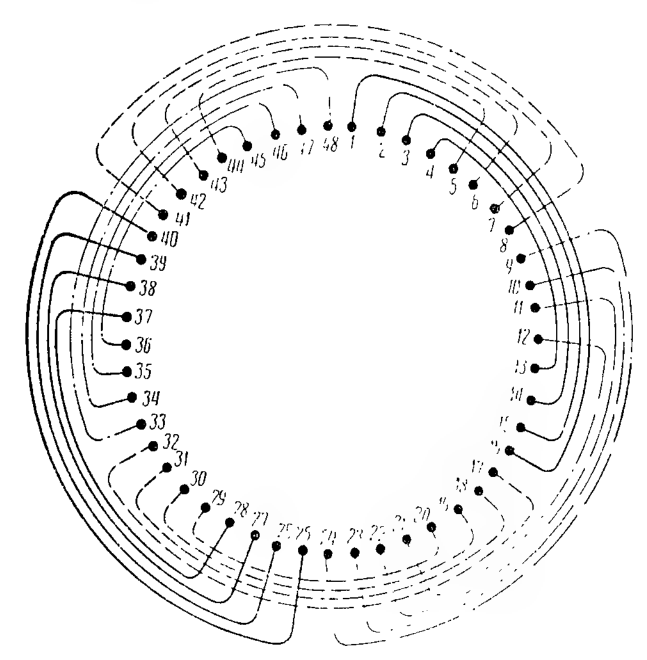



Рис. 41. Торцовая схема концентрической обмотки

Лобовые соединения обмоток выполняют на схемах в виде прямых линий, которые соединяют с вертикальными линиями, изображающими провода обмотки, лежащие в пазах.

На рис. 40 показана развернутая схема трехфазной однослойной обмотки статора. На этой схеме видны и провода, лежащие в пазах, и лобовые соединения с обеих сторон статора.

Некоторое затруднение для чтения развернутых схем заключается в том, что начало и конец развертки, которые на статоре лежат рядом, на развернутой схеме получаются удаленными друг от друга на всю длину схемы, а соединения лобовых частей обмотки оказываются при этом разрезанными. При чтении схемы приходится мысленно проследить соединение от конца схемы к началу подобно тому, как при чтении книги переходят от конца одной строки к началу следующей.

При составлении схемы надо выбирать место разреза таким образом, чтобы наименьшее количество лобовых соединений оказалось разрезанным, а по отношению к катушкам линия разреза располагалась симметрично.

Указанные выше затруднения отсутствуют при чтении круглых или торцовых схем обмотки (рис. 41), на которых дано изображение торца статора с условными обозначениями пазов и лобовых соединений обмотки. Круглые схемы являются очень наглядными для укладки обмотки в пазы, особенно для начинающих обмотчиков. Однако на этих схемах трудно, а иногда и просто невозможно изобразить соединения между катушками и фазами обмотки, поэтому эти схемы следует признать менее совершенными, чем развернутые схемы. Вообще торцовые схемы следует рассматривать как наглядное пособие при изучении и разборе схем обмоток, особенно концентрических.

## СХЕМЫ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

Однослойными называются такие обмотки, у которых стороны катушки занимают весь паз.

Однослойные обмотки машин трехфазного тока разделяются на два вида — концентрические и равнокатушечные.

Пример концентрической обмотки можно видеть на рис. 40. Обмотка состоит из катушек, стороны которых расположены в пазах так, что катушки обмотки охватывают одна другую. Отсюда обмотка и получила свое название. Поэтому ширина отдельных катушек разная.

Четыре катушки, соединенные последовательно, образуют катушечную группу. Косыми черточками показаны переходы из одной катушки в другую. Равнокатушечные обмотки состоят из катушек одинаковой ширины и формы. Схемы равнокатушечных обмоток будут рассмотрены далее.

На рис. 40 показана развернутая схема, а на рис. 41 — торцовая схема однослойной концентрической обмотки. Такие обмотки применяются как для статоров, так и для роторов асинхронных двигателей, причем в составлении схемы нет принципиальной разницы между обмоткой ротора или статора.

Выводные концы статорной обмотки обозначают *С* и присоединяют к зажимам на дощечке, а выводные концы роторной обмотки — *Р* и присоединяют к контактным кольцам.

Данными для составления схемы трехфазной однослойной обмотки являются число пазов, число полюсов, [illegible] фаз и число параллельных ветвей [illegible]

метром трехфазной обмотки является число пазов, приходящееся на один полюс и на одну фазу. В концентрических обмотках это число определяет число пазов, которое занимает одна сторона катушечной группы. Зная число пазов и число полюсов, легко определить число пазов на полюс и фазу. Для этого надо число пазов статора разделить на число фаз и на число полюсов.

Обратимся к схемам обмотки на рис. 40 и 41. Как видно из схем, статор имеет 48 пазов. Обмотка трехфазная, т. е. число фаз равно трем. Следовательно, на каждую фазу приходится $48:3=16$ пазов.

Эта обмотка выполнена на четыре полюса. На рис. 40 полюсное деление обозначено $\tau$ (тау). Таким образом, в каждой фазе на один полюс приходится $16:4 = 4$ паза. Это сразу видно из схем, на которых сторона катушечной группы занимает четыре паза и поэтому состоит из четырех последовательно соединенных катушек. Катушечные группы в фазе соединены последовательно, значит, число параллельных ветвей $a = 1$.

В асинхронных трехфазных машинах на статоре или роторе нет явно выраженных полюсов, как в машинах постоянного тока, однако в концентрической обмотке число полюсов легко можно определить по внешнему виду обмотки. Это получается потому, что в трехфазной обмотке катушки трех фаз образуют два полюса — северный и южный. Исходя из этого, можно установить зависимость между числом катушечных групп и числом полюсов. Очевидно, что на каждые три катушечные группы приходятся два полюса, а следовательно, *число полюсов составляет две трети от числа катушечных групп, или, другими словами, число катушечных групп в полтора раза больше числа полюсов.* Число катушечных групп концентрической обмотки легко сосчитать по виду лобовых частей. Например, обмотка, представленная на схемах, имеет шесть катушечных групп. Следовательно, в этой обмотке будет $\frac{6\times2}{3} = 4$ полюса, или две пары полюсов.

В технической литературе, а иногда и на чертежах технические данные обмотки обозначают следующими латинскими буквами. Число пазов статора или ротора — буквой $z$ (зет), число полюсов $2p$ (два пе) и число пазов на полюс и фазу — буквой $q$ (ку), число параллельных ветвей — буквой $a$. Число полюсов всегда должно быть четное, поэтому оно обозначается $2p$, где $p$ представляет число пар полюсов. Например, если $p=2$, это значит, что обмотка четырехполюсная.

Таким образом, сокращенно технические данные концентрической однослойной обмотки, показанной на рисунках, могут быть записаны так:

$$z = 48,\ 2p = 4,\ q = 4,\ a = 1.$$

На схемах лобовые части обмоток пересекаются, но на статоре лобовые части катушек должны огибать одна другую.



На рис. 42, *а* в разрезе показано расположение лобовых частей этой обмотки. Лобовая часть обмотки, обозначенная *А*, соответствует коротким катушкам на схеме, а лобовая часть, обозначенная *Б*, соответствует длинным катушкам на схеме. Таким образом, у этой обмотки лобовые части расположены в двух плоскостях, поэтому обмотка называется двухплоскостной.

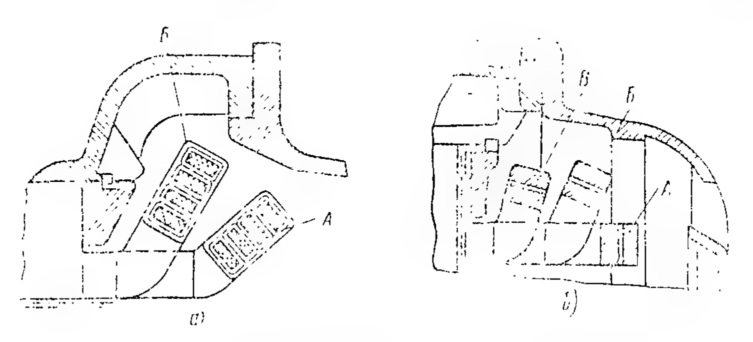
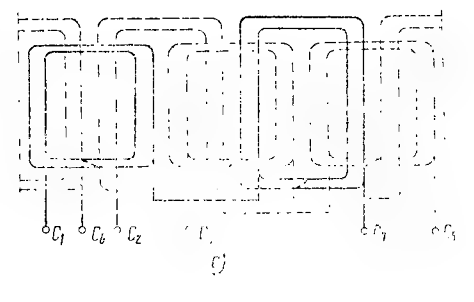



Рис. 42. Расположение лобовых частей обмотки.
*а* — в двух плоскостях, *б* — в трех плоскостях

На рис. 43, *а* показана схема концентрической обмотки со следующими данными: $z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$. Как видно из схемы, лобовые части обмотки также расположены в двух плоскостях. На рис. 43, *б* изображен вид лобовых частей этой обмотки с торца статора (слева) и в разрезе (справа).



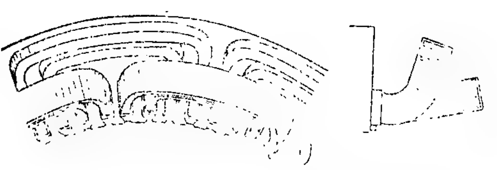


Рис. 43. Концентрическая обмотка

В разобранных примерах число пар полюсов было четное, а поэтому и число катушечных групп получилось четное (шесть); значит их можно распределить поровну на два вида — три катушечные группы с длинными лобовыми частями и три с короткими лобовыми частями. Однако число пар полюсов не всегда бывает четным.

Возьмем такой пример. Число пазов $z=36$, число полюсов $2p=6$. В этом случае число катушечных групп будет: $\frac{6\times3}{[illegible]}$ и

Нечетное число катушечных групп нельзя поровну разделить на два вида, поэтому одна из катушечных групп получается с перекошенными лобовыми частями. Развернутая схема такой обмотки показана на рис. 44. У этой обмотки число пазов на полюс и фазу $q=\frac{36}{3\times 6}=2$.

Поэтому каждая катушечная группа состоит из двух катушек и стороны ее занимают по два паза. Из схемы видно, что четыре катушечные группы имеют длинные лобовые части, четыре катушечные группы — короткие лобовые части, а одна из катушечных групп, лежащая в *17*, *18*, *23* и *24*-м пазах, имеет перекошенные лобовые части. У этой катушечной группы левая сторона выполнена, как у короткой, а правая, как у длинной.

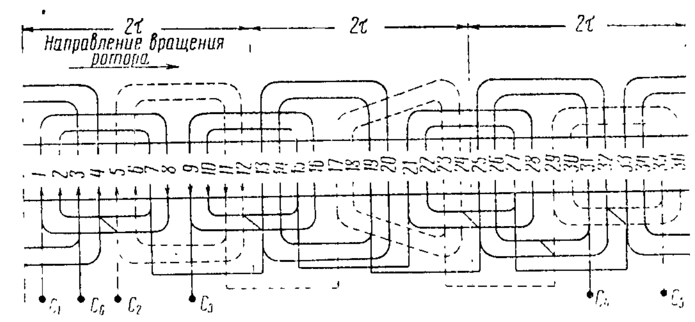



Рис. 44. Схема концентрической обмотки с перекошенной катушкой

Катушечная группа с перекошенными лобовыми частями создает трудности при обмотке. Очевидно, что при жестких катушках эту катушечную группу нужно делать на специальном шаблоне. Кроме того, за счет разной длины лобовых частей отдельные фазы обмотки будут иметь различное электрическое сопротивление. Если такая обмотка применяется в роторе, то вследствие неодинакового веса лобовых частей ротор при вращении будет вибрировать и его трудно будет сбалансировать.

В машинах с жесткими катушками необходимо избегать применения перекошенных катушек. Это можно сделать, увеличив число катушечных групп. Разберем такой пример. Дана обмотка со следующими техническими данными: $z=24$, $2p=2$, $q=4$. Число катушечных групп у такой обмотки будет равно трем. Так как число катушечных групп нечетное, то одна катушечная группа получится с перекошенными лобовыми частями. Для практики рекомендуется самостоятельно построить такую схему, руководствуясь изложенными правилами и примерами предыдущих схем.

Но можно схему обмотки построить иначе. Разделим каждую катушечную группу на две (рис. 45), направляя лобовые части каждой половины катушечной группы в противоположные



стороны. Тогда получим обмотку, у которой каждая катушечная группа будет состоять из двух катушек, а число катушечных групп при этом удвоится. На схеме видна и другая особенность этой обмотки: у нее лобовые части расположены не в двух, а в трех плоскостях, и обмотка называется трехплоскостной. Таким образом, мы избавились от катушечной группы с перекошенными лобовыми частями. Лобовые части этой обмотки в разрезе показаны на рис. 42, *б*.

К трехплоскостным обмоткам прибегают иногда не для того, чтобы избавиться от перекошенной катушечной группы, а разделить большие катушечные группы и упростить укладку лобовых частей. Это бывает при большом числе пазов на полюс и фазу. Так, например, в схеме на рис. 40 $q=4$. Можно ту же обмотку выполнить трехплоскостной с двумя катушками в катушечной группе. Рекомендуется выполнить эту схему самостоятельно, изобразив ее и в развернутом и в торцовом виде, аналогично рис. 41.

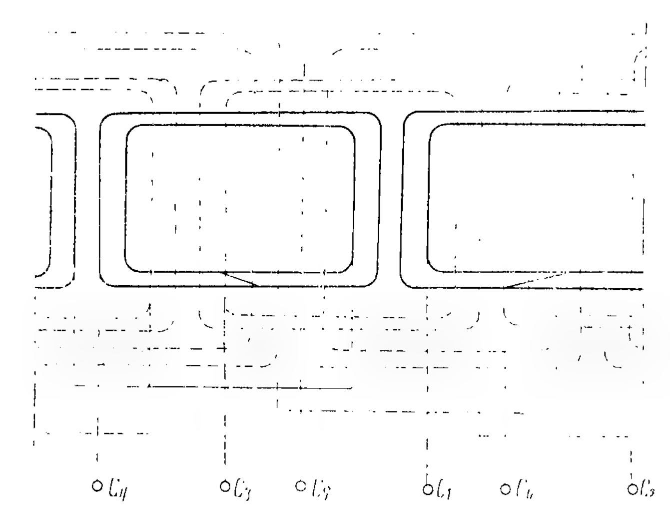


Рис. 45. Схема трехплоскостной концентрической обмотки

Таким образом, трехплоскостная обмотка имеет следующие преимущества: отсутствие катушек с перекошенными лобовыми частями и более простые катушечные группы. Но она имеет и недостаток, заключающийся в неодинаковом сопротивлении отдельных фаз. Сравнивая схемы на рис. 43 и 45, видим, что у двухплоскостной обмотки каждая фаза состоит из одной короткой и из одной длинной катушки. Таким образом, развернутые длины всех фаз, а следовательно, и сопротивления их одинаковы. На схеме трехплоскостной обмотки (рис. 45) видно, что одна фаза состоит из двух коротких катушек, вторая — из двух сред-

них, а третья — из двух длинных. Поэтому сопротивления фаз будут различными, что вносит асимметрию в обмотку.

## ВЫПОЛНЕНИЕ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ОБМОТОК

Концентрические обмотки машин малой и средней мощности выполняются вручную. В машинах большой мощности концентрические обмотки статоров при большом числе проводов выполняют из заранее заготовленных катушек; концы проводов загибают и спаивают между собой после укладки катушек в пазы статора. Процесс выполнения таких обмоток, очень трудоемок, особенно в машинах с закрытыми пазами, когда их приходится мотать вручную. Трудоемкость значительно снижается при полузакрытых пазах, когда провода можно закладывать в прорези пазов. Такой способ намотки применяется для роторов и статоров машин малой и средней мощности.

В концентрической обмотке неисправную катушку или катушечную группу можно легко заменить новыми, не затрагивая других катушечных групп, в то время как в равнокатушечных двухслойных обмотках для выемки одной катушки необходимо поднять из пазов несколько других катушек, расположенных в одном полюсном делении. Поэтому концентрические обмотки легче поддаются ремонту.

Крупным недостатком концентрических обмоток является невозможность выполнить укорочение шага обмотки. Подробнее об этом будет сказано в главе IX.

Сначала рассмотрим технологический процесс выполнения концентрической обмотки вручную. Этот способ обмотки называется *обмоткой впротяжку.*

Процесс обмотки состоит из подготовки ротора или статора к обмотке, разметки под обмотку и укладки проводов в пазы. Намотка концентрической обмотки производится изолированным проводом. Ввиду того, что в процессе намотки провод подвергается перегибам и механическим воздействиям, а изоляция провода при протаскивании его через пазы истирается, следует применять провод с двойной обмоткой хлопчатобумажной пряжей марки ПБД. Выполнение ручной концентрической обмотки впротяжку рассмотрим на примере ротора с закрытыми пазами, схема обмотки которого показана на рис. 46. Подготовка ротора к обмотке заключается в следующем:

1) нарезать из электрокартона полоски для гильз;

2) согнуть гильзы на деревянной оправке;

3) осмотреть ротор, подправить молотком отогнутые зубцы, опилить заусенцы в пазах и продуть ротор сжатым воздухом;

4) изолировать нажимные шайбы ротора полосками электрокартона, имеющими ширину на 2—3 *мм* больше толщины нажимной шайбы ротора, до уровня основания пазов и затянуть киперной лентой (рис. 47);



5) вложить гильзы в пазы, в которые будет наматываться первая катушка.

Разметка ротора под обмотку заключается в следующем. Ротор имеет 24 паза, 4 полюса; следовательно, число пазов на полюс и фазу $q = \frac{24}{3 \times 4} = 2$, т. е. сторона катушечной группы занимает два паза.

Число катушечных групп $\frac{4 \times 3}{2} = 6$.

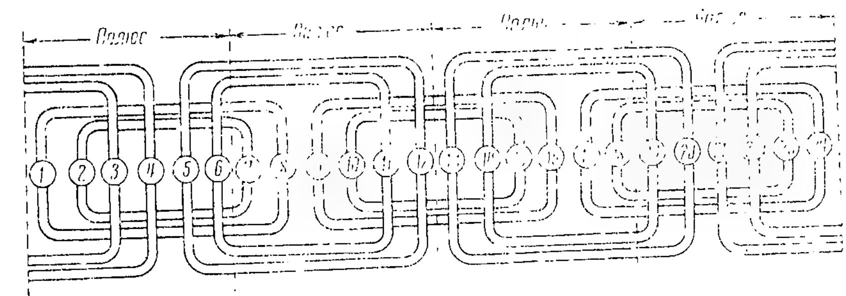



Рис. 46. Схема обмотки ротора

При двухплоскостной обмотке ротор будет иметь три длинные катушечные группы и три короткие. Внутри каждой короткой катушечной группы должны быть оставлены пустые пазы для двух сторон других катушечных групп с длинными лобовыми частями.

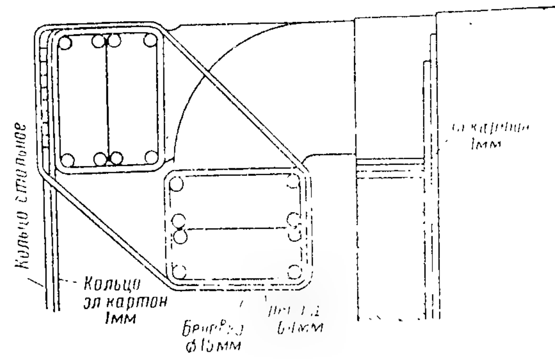



Рис. 47. Лобовые части обмотки ротора

Таким образом, каждая катушечная группа охватывает восемь пазов, из которых четыре остаются свободными, а четыре занимаются двумя сторонами данной катушечной группы. Соседние катушечные группы с короткими лобовыми частями укладываются рядом без пропуска пазов.

Расстояние между сторонами катушки, подсчитанное числом зубцов, называется *шагом обмотки.* У концентрической обмотки

шаг для катушек, лежащих в разных пазах, будет различным. В рабочих чертежах шаг обмотки обычно обозначается двумя цифрами, указывающими номера пазов, в которые должны быть вложены стороны катушки. Например, в данном случае шаг наружных катушек катушечной группы должен быть обозначен 1—8 (читается: «один — восемь» или «из первого в восьмой паз»), а для внутренних катушек шаг будет 2—7; свободными остаются 3, 4, 5 и 6-й пазы. Последовательность намотки катушечных групп с короткими лобовыми частями будет такая: 2—7; 1—8; 10—15; 9—16; 18—23; 17—24-й пазы.

К разметке ротора надо относиться очень внимательно, так как если допустить ошибку хотя бы в одном шаге, то для одной из катушек не хватит паза, а в другой останется лишний паз. Это будет обнаружено только в конце обмотки, и вся работа пойдет впустую, а затраченный материал — в брак.

Процесс намотки концентрической обмотки после подготовки и разметки ротора выполняется в следующем порядке:

1) вставить в 2 и 7-й пазы гильзы и стальные спицы диаметром на 0,1 *мм* больше диаметра изолированного провода; концы спиц должны выступать из паза на 50—60 *мм*; число спиц должно быть равно числу проводов в пазу;

2) вставить в 3 и 6-й пазы с обеих сторон ротора деревянные оправки, которые служат шаблонами для образования формы лобовых частей катушек;

3) измерить длину одного витка, вложив обмоточный провод в 2 и 7-й пазы и обогнув его по шаблонам;

4) определить развернутую длину катушки, умножив длину витка на число проводов в пазу;

5) отмотать от бухты конец провода длиной, равной развернутой длине катушки с некоторым запасом, но не отрезать его от бухты;

6) первый обмотчик вытягивает из 2-го паза верхнюю или нижнюю спицу, а второй проталкивает вслед за спицей конец обмоточного провода, предварительно натертого парафином, до тех пор, пока конец провода не выйдет с противоположной стороны ротора;

7) первый обмотчик захватывает пассатижами конец провода и протягивает через паз всю длину отмеренного провода; в это время второй обмотчик направляет провод, не допуская резких перегибов и образования барашков;

8) когда весь отмотанный от бухты провод будет протянут через паз, второй обмотчик вытягивает из 7-го паза спицу, а первый просовывает вслед за спицей конец провода и, после того как весь провод будет протянут, укладывает на шаблонах первый виток лобовой части катушки.

Таким образом укладываются и следующие витки катушки до тех пор, пока 2 и 7-й пазы не будут заполнены проводами. Спицы из пазов вынимают в определенной последовательности,



обеспечивающей расположение витков в пазу согласно чертежу. После этого приступают к намотке второй катушки этой катушечной группы, которая лежит в 1 и 8-м пазах. Намотка производится в такой последовательности:

9) вставить освободившиеся из 2 и 7-го пазов спицы в 1 и 8-й пазы;

10) измерить развернутую длину витка катушки, лежащей в 1 и 8-м пазах;

11) определить развернутую длину катушки, умножив среднюю длину витка на число проводов в пазу;

12) отмотать от бухты провод, длиной равный развернутой катушке с некоторым запасом, производя начало измерения от места выхода провода из 7-го паза, и отрезать провод от бухты;

13) намотать катушку, лежащую в 1 и 8-м пазах, теми же методами, как и первую катушку; после окончания намотки останется два вывода — начало катушечной группы, выходящее из 2-го паза, и конец катушечной группы, выходящий из 8-го паза. Эти выводы должны быть соединены с выводами других катушечных групп согласно схеме.

После того как намотаны катушечные группы с короткими лобовыми частями, симметрично между ними укладываются катушечные группы с длинными лобовыми частями.

Если длина бухты меньше развернутой длины катушки, то приходится делать спайку провода одной бухты с проводом другой бухты. Спайка производится после того, как весь первый провод уложен в пазы. Место спайки располагают на лобовой части катушки. Перед спайкой концы проводов должны быть зачищены стеклянной бумагой и соединены между собой скобочкой. Паяние производится оловянисто-свинцовым припоем с канифолью в качестве флюса. Затем место спайки зачищается от наплывов припоя при помощи напильника и изолируется тремя слоями полотняной ленты, конец которой приклеивается к проводу.

Иногда на проводе обнаруживается оголенное место. Если в процессе намотки это место приходится на лобовой части, достаточно его изолировать полотняной лентой. В случае, когда оголенное место попадает в паз, и вследствие тесной укладки утолщение провода дополнительной изоляцией недопустимо, приходится участок провода с оголенной изоляцией вырезать, сделав спайку на лобовой части катушки.

При вращении ротора лобовые части обмотки будут стремиться отогнуться наружу под действием центробежной силы. Отгиб лобовых частей может повести к задеванию их за обмотку статора. Для предохранения от отгибания лобовые части катушек привязывают киперной лентой или бечевкой к стальному кольцу на торце ротора. Расположение и укрепление лобовых частей обмотки ротора показаны на рис. 47.

При полузакрытой форме паза выполнение концентрической обмотки значительно упрощается. Такие обмотки применены в

единой серии асинхронных электродвигателей мощностью до 7 *квт*. Обмотка выполняется не впротяжку, а из намотанных на шаблоны катушечных групп. Для того чтобы не иметь разных шаблонов, все катушечные группы наматываются на один шаблон и у всех катушечных групп лобовые части сделаны перекошенными. На рис. 48 показан ступенчатый шаблон для намотки катушечной группы из двух катушек, а на рис. 49 — схема укладки катушечных групп в пазы.

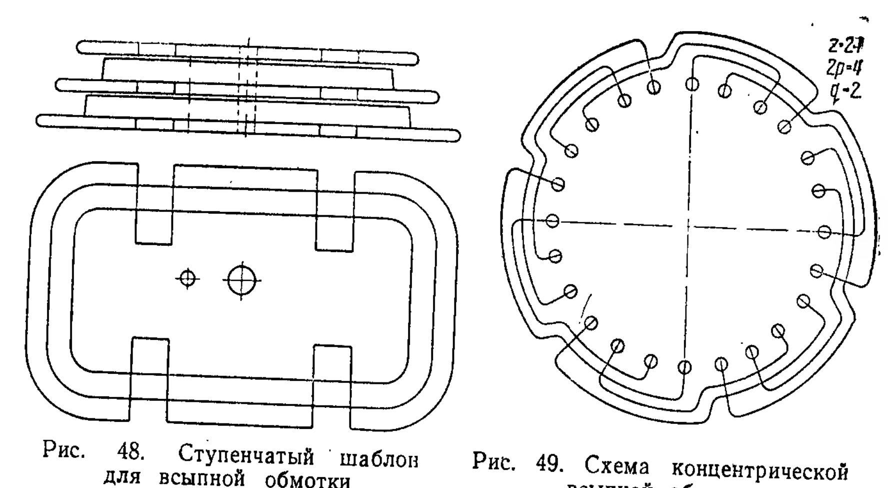



Рис. 48. Ступенчатый шаблон для всыпной обмотки

Рис. 49. Схема концентрической всыпной обмотки

В машинах большой мощности концентрические обмотки в настоящее время совсем не применяются. Поэтому технологический процесс выполнения таких обмоток из жестких катушек здесь не рассматривается.

## СОЕДИНЕНИЕ КАТУШЕЧНЫХ ГРУПП В ФАЗАХ

После укладки обмотки в пазы приступают к соединению катушечных групп в фазах. Для соединения от каждой катушечной группы выходят два вывода — начало и конец катушечной группы. Таким образом, общее число выводов в два раза больше числа катушечных групп. На дощечку зажимов от статорной обмотки должно быть выведено шесть выводов — начала и концы трех фаз. Остальные выводы должны быть соединены внутри каждой фазы. При соединении надо найти начала фаз на окружности статора и произвести спайку выводов внутри фаз. Выполнение этих соединений является самой сложной частью работы обмотчика и требует знаний и навыка, так как при неправильном соединении катушечных групп машина не может нормально работать. Соединения катушечных групп даны в развернутой схеме (см. рис. 40). Эта обмотка имеет шесть катушечных групп. Сначала надо произвести соединение катушечных групп в одной фазе.



Проследим, как выполнено соединение между катушечными группами первой фазы, начерченной сплошными линиями. Вывод, выходящий из 1-го паза, является началом катушечной группы.

Его отгибают, так как он пойдет к дощечке зажимов и будет являться началом первой фазы. Из 13-го паза выходит конец этой же катушечной группы. Его надо соединить со второй катушечной группой первой фазы, выводы которой выходят из 25 и 37-го пазов. Как видно из торцовой схемы (рис. 41), вторая катушечная группа расположена на статоре, диаметрально противоположно первой катушечной группе. В четырехполюсной машине она должна иметь такую же полярность, как и первая. Поэтому направление тока в обеих катушечных группах должно быть одинаковое. Для этого надо конец первой катушечной группы, выходящий из 13-го паза, соединить с началом второй катушечной группы, выходящим из 25-го паза. Проверим, действительно ли при таком соединении обе катушки будут иметь одинаковую полярность. Предположим, что ток направлен в отогнутый выводной конец первого паза. Он будет обтекать первую катушечную группу по направлению часовой стрелки, затем перейдет по проводу 25-го паза на вторую катушечную группу, которую будет обтекать также по часовой стрелке. Следовательно, соединение катушечных групп выполнено правильно, так как полярность катушек соответствует положению их на статоре. Вывод, выходящий из 37-го паза, будет служить концом первой фазы и пойдет к дощечке зажимов. Других катушек в первой фазе нет, поэтому соединение катушечных групп в первой фазе на этом заканчивается.

Теперь надо решить, из какого паза взять начало второй фазы, изображенной штрихпунктирной линией. Чтобы не ошибиться, необходимо познакомиться с понятием *электрические градусы*. Из геометрии известно, что окружность разбивается на 360°. Эти градусы называются геометрическими, или пространственными. Поскольку статор и ротор представляют собой окружность, они всегда содержат 360 пространственных градусов. Число же электрических градусов в окружности статора может быть равно 360 или больше в целое число раз. Если обмотка статора выполнена на два полюса, то число электрических градусов в окружности статора также равно 360. Но если обмотка выполнена на четыре полюса, то за 360 электрических градусов следует принять часть окружности, на которой расположены один северный и один южный полюс. Так как вся окружность статора занимает четыре полюсных деления, то число электрических градусов будет в два раза больше, чем число пространственных градусов. Таким образом, в четырехполюсной обмотке окружность статора содержит 720 электрических градусов, при шестиполюсной обмотке — 1080 электрических градусов и т. д.

Из этого можно вывести общее правило, что *число электри-*

*ческих градусов в окружности равняется 360 p*, где *p* — число пар полюсов обмотки.

Зная, что такое электрические градусы, можно во всякой обмотке определить, сколько электрических градусов будет заключено между двумя соседними пазами. Например, статор имеет 36 пазов и обмотка выполнена на шесть полюсов. Окружность такого статора будет заключать 1080 электрических градусов. Следовательно, угол между соседними пазами составляет: $\frac{1080}{36} = 30$ электрических градусов.

Для соблюдения симметрии обмотки необходимо, чтобы расстояние между началами трех фаз составляло две трети полюсного деления, т. е. 120 электрических градусов. Такое же расстояние должно быть и между концами фаз.

Вернемся к схеме, изображенной на рис. 40, и определим, из какого паза надо взять начало второй фазы, пользуясь тем правилом, с которым мы сейчас познакомились. В этой обмотке, намотанной на четыре полюса, окружность статора содержит 720 электрических градусов. Угол между соседними пазами будет: $\frac{720}{48} = 15$ электрических градусов.

Следовательно, начало второй фазы, которое должно отстоять от начала первой фазы на 120 электрических градусов, будет находиться на расстоянии: $\frac{120}{15} = 8$ пазовых делений.

Теперь легко найти положение начала второй фазы, для чего к 1-му пазу нужно прибавить 8, и тогда началом второй фазы должен служить провод, выходящий из 9-го паза.

Конец первой катушечной группы второй фазы, выходящий из 21-го паза, надо соединить с началом второй катушечной группы этой фазы, выходящим из 33-го паза. При этом, как видно из схемы, получим катушки одинаковой полярности. После соединения катушечных групп второй фазы останется свободным конец фазы, выходящий из 45-го паза. Но известно, что концы и начала фаз должны быть расположены также на 120 электрических градусов, т. е. на восемь пазовых делений. На основании этого можно проверить сделанные соединения. Для этого определим разность номеров пазов, из которых выходят концы фаз: 45 — 37 = 8 пазовых делений, т. е. расположение концов фаз сделано правильно.

Теперь осталось выполнить соединение катушечных групп третьей фазы. Начало фазы должно выходить из 9 + 8 = 17-го паза. После соединения катушечных групп, которое выполняется аналогично соединению в других фазах, останется свободным вывод из 5-го паза. Проверим, правильно ли расположены относительно друг друга концы второй (45-й паз) и третьей фазы (5-й паз). Здесь нельзя проверить простым вычитанием, так как 5 меньше 45. Поэтому надо поступить следующим образом. Обратимся к круговой схеме и начнем считать номера пазов подряд; тогда после 48-го будет 49-й паз, который на схеме обозначен номером 1; после 49-го — 50-й (на схеме 2-й) и т. д. 5-й же паз получит номер 48 + 5 = 53. Вычитая 45 из 53, получим 8 пазовых делений. Таким образом, расстояние между концами фаз получилось правильное.



Можно записать два основных правила для выполнения междукатушечных соединений в фазах однослойной концентрической обмотки и для выбора начал и концов фаз:

1. *Расстояния между началами и концами фаз должны быть равны 120 электрическим градусам. Положение начала первой фазы может быть выбрано произвольно.*

2. *В каждой фазе надо соединять катушечные группы разноименными выводами, т. е. начало с концом или конец с началом.*

## СХЕМЫ РАВНОКАТУШЕЧНЫХ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

В равнокатушечной обмотке все катушки выполнены с одинаковым шагом. Каждая катушка занимает два паза, поэтому общее число катушек должно быть равно половине числа пазов. Наибольшее распространение получили *цепные обмотки* вследствие удобного расположения лобовых частей. На рис. 50 показана схема цепной обмотки статора с числом пазов $z = 36$ и числом полюсов $2p = 4$.

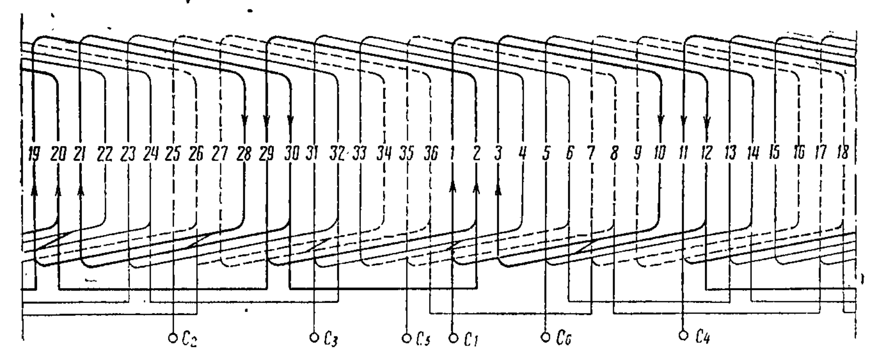



Рис. 50. Схема цепной обмотки

Из схемы видно, что шаг обмотки, равный числу зубцов, охватываемых катушкой, должен быть всегда равен нечетному числу, так как если длинные стороны катушек занимают пазы с нечетными номерами, то короткие стороны катушек должны занимать пазы с четными номерами. Все катушки имеют одинаковый шаг, равный 9, т. е. первая катушка укладывается в 1—10-й пазы, вторая — в 3—12-й и т. д.

Шаг обмотки можно определить, разделив число пазов на число полюсов. В данном случае 36 : 4 = 9.

Лобовые части равнокатушечной обмотки располагаются симметрично, поэтому, глядя на схему, нельзя определить, сколько катушечных групп содержит обмотка и на сколько полюсов она намотана. Для определения числа полюсов надо проследить направление тока в проводах обмотки, считая, что ток направлен от начала первой фазы к концу ее. На схеме (см. рис. 50) показано направление тока в первой фазе. Проследив направление тока во всех проводах фазы, видим, что ток в двух группах проводов направлен вверх, а в двух других группах вниз. Это показывает, что обмотка выполнена на 4 полюса. Число проводов в такой группе равно 3, в соответствии с числом пазов на полюс и фазу, которое в данной обмотке будет: $q = \frac{36}{3 \times 4} = 3$.

Группы проводов с одинаковым направлением тока расположены на схеме на одинаковых расстояниях. Это показывает, что соединение катушек в обмотке выполнено правильно.

Цепные обмотки применяют в статорах машин малой мощности. Они могут быть изготовлены из заранее намотанных катушек, причем все катушки могут быть намотаны на одном и том же шаблоне. Вкладывание проводов в пазы производится путем всыпания их через прорезь паза. Поэтому обмотка называется всыпной. Укладка в пазы проводов всыпной обмотки требует затраты значительно меньшего времени, чем намотка концентрической обмотки впротяжку. Поэтому в малых машинах применение цепной обмотки более выгодно.

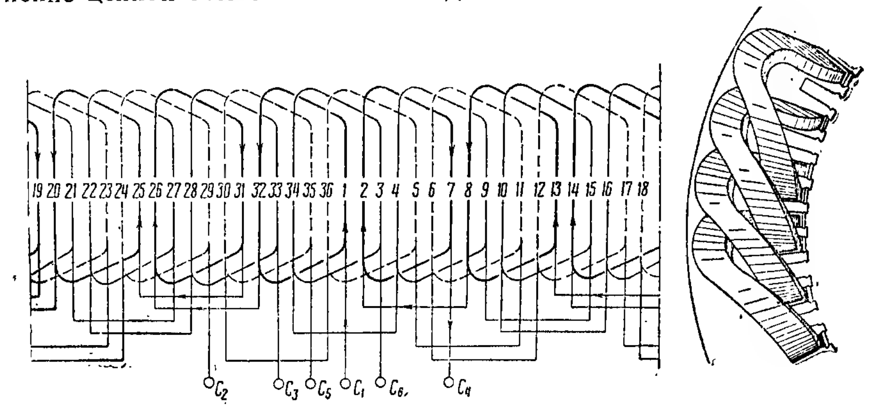



Рис. 51. Схема цепной обмотки и вид лобовых частей

Цепные обмотки допускают укорочение шага. Правда, укорочение не может быть выбрано произвольным, так как шаг обмотки должен всегда выражаться нечетным числом. Например, обмотку на схеме (рис. 50) можно выполнить с укороченным шагом, равным 7, т. е. из 1-го паза переносить в 8-й паз.

Иногда обмотку приходится принудительно делать с укороченным шагом. Возьмем такой пример. Цепная обмотка со следующими техническими данными: $z = 36$, $2p = 6$. Разделив число пазов на число полюсов, узнаем, что шаг обмотки получается четным числом 6; с таким числом обмотка не может быть выполнена, поэтому берем шаг равным 5 (1—6). На рис. 51 показана схема этой обмотки и вид ее лобовых частей.



## СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ В ТРЕХФАЗНОЙ ОБМОТКЕ

После соединения катушечных групп в фазах остаются шесть выводов, из которых три являются началами фаз, а три — концами фаз. Обычно все шесть выводов присоединяются к зажимам на специальной дощечке или выводятся гибкими проводами с резиновой изоляцией, на которые надеваются бирки с обозначениями выводов. По ГОСТ 183—55 выводы трехфазной обмотки статора должны иметь следующие обозначения:

| | |
|---|---|
| $C_1$ — начало первой фазы | $C_4$ — конец первой фазы |
| $C_2$ — » второй » | $C_5$ — » второй » |
| $C_3$ — » третьей » | $C_6$ — » третьей » |

У электродвигателей старых типов начала фаз обозначены латинскими буквами *X*, *У*, *Z*, а концы фаз соответственно: *U*, *V*, *W* или начала фаз — буквами *A*, *B*, *C*, а концы фаз соответственно: *X*, *У*, *Z*.

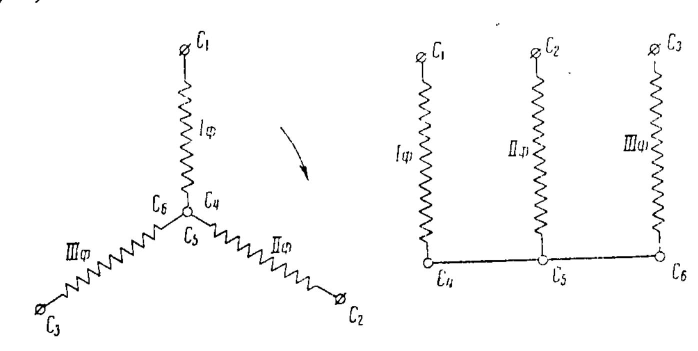



Рис. 52. Соединение фаз в звезду

Всякая трехфазная обмотка присоединяется к трем проводам трехфазной сети. Для этого необходимо выполнить соединение фаз обмотки так, чтобы ее можно было присоединить к трем проводам сети и чтобы обмотка была замкнута.

Существуют две схемы соединений трехфазных обмоток — звезда и треугольник. На рис. 52 показано соединение в звезду. Как видно из схемы, для соединения в звезду надо концы всех трех фаз соединить в общую точку, а начала фаз приключить к трех фаз соединить в общую точку, а начала фаз приключить к линии. При соединении в звезду ток в фазе обмотки равен току линии, а напряжение в фазе в 1,73 раза меньше, чем напряжение между линейными проводами.

На рис. 53 показана другая схема соединения трехфазной обмотки — соединение в треугольник. Для этого надо конец первой фазы соединить с началом второй фазы, конец второй фазы — с началом третьей фазы и конец третьей фазы — с началом первой фазы. Линейные провода присоединяются к точкам соединения фаз.

При соединении в треугольник ток в фазе обмотки в 1,73 раза меньше тока в линейном проводе, а напряжение в фазе обмотки равно напряжению между линейными проводами.

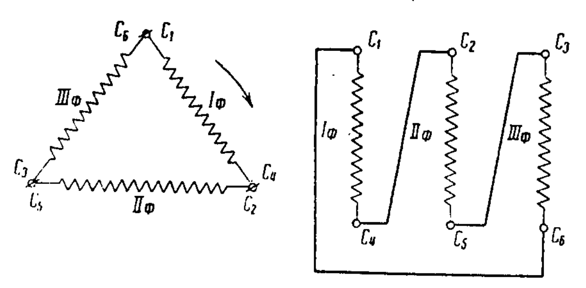



Рис. 53. Соединение фаз в треугольник

Почти все асинхронные электродвигатели выпускаются на два напряжения трехфазной сети, например 127/220 или 220/380 *в*. Соединение фаз обмотки должно быть выполнено, в зависимости от напряжения сети, или в звезду или в треугольник. Например, если двигатель выполнен на напряжение 220/380 *в*, то для присоединения к сети напряжением 220 *в* фазы обмотки должны быть соединены в треугольник. Тогда в каждой фазе обмотки будет напряжение 220 *в*, как и в линии.

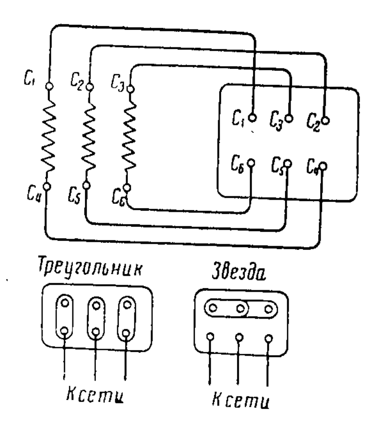



Рис. 54. Схема дощечки зажимов

Если этот же двигатель должен быть присоединен к трехфазной сети с напряжением 380 *в*, то соединение фаз обмотки должно быть выполнено в звезду. При этом в фазе обмотки будет напряжение $380 : 1{,}73 = 220$ *в*, т. е. напряжение в фазе обмотки при таком соединении сохранилось прежним.

Если электродвигатель снабжен дощечкой зажимов, то присоединение начал и концов фаз к зажимам должно быть выполнено определенным образом. На рис. 54 показан способ присоединения выводов обмотки к зажимам. Концы фаз присоединяются к зажимам в порядке следования фаз, а начала фаз передвинуты так, что над концом третьей



фазы расположено начало первой, над концом второй фазы — начало третьей и над концом первой — начало второй фазы. При таком соединении переключение обмотки на звезду или на треугольник производится без переключения проводов на зажимах. Для этого достаточно только переставить три медные соединительные пластинки, которые имеются в коробке зажимов. На рис. 54 внизу показана установка пластинок и приключение линейных проводов в зависимости от схемы соединения обмотки в треугольник или звезду.

К переключению обмотки со звезды на треугольник иногда прибегают для пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Например, если асинхронный двигатель работает от сети 220 *в*, то при пуске его включают по схеме звезды. При этом напряжение в фазе понижается в 1,73 раза и соответственно снижается пусковой ток. Когда двигатель развернется до номинального числа оборотов, обмотку переключают на треугольник. Для таких переключений служат специальные рубильники, которые носят название переключателей.

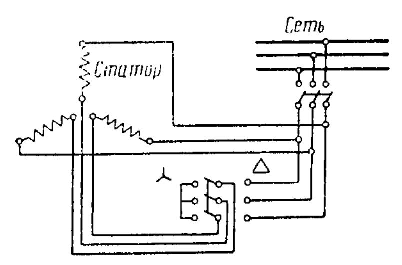



Рис. 55. Переключение обмотки со звезды на треугольник

На рис. 55 дана схема переключения обмотки. Обмотка статора имеет шесть выводов, из которых три приключаются к сети, а три других — к ножам переключателя. Когда ножи переключателя замыкаются с левыми контактами, обмотка включена в звезду; если же перекинуть ножи направо, то обмотка будет переключена в треугольник.

*Глава IX*

# СХЕМЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

## ШАГ ОБМОТКИ

Двухслойные трехфазные обмотки имеют наибольшее распространение в машинах переменного тока. Они применяются как для машин малой и средней мощности, так и для крупных машин. В малых машинах двухслойные обмотки изготовляются из мягких катушек, намотанных из круглого провода. В машинах средней и большой мощности двухслойные обмотки изготовляют из жестких катушек, намотанных из провода прямоугольного сечения.

Основное отличие двухслойных обмоток от однослойных заключается в том, что в каждый паз кладутся стороны двух катушек и каждая катушка расположена на статоре в двух слоях. Один слой обмотки укладывают на дно паза, а другой располагают в верхней его части, обращенной к ротору. Лобовые части обмотки занимают два слоя, и переход из одного слоя в другой осуществляется в головках катушек.

Двухслойные обмотки применяются также в роторах асинхронных двигателей средней и большой мощности. Роторные обмотки выполняют из медных стержней. Они отличаются от статорных по конструкции и схемам соединений. Роторные двухслойные обмотки будут рассмотрены в главе XVII.

В предыдущей главе было указано, что у концентрических обмоток шаги отдельных катушек разные, так как катушки охватывают одна другую концентрически. Число разновидностей катушек по шагу обмотки равно числу пазов, занимаемых одной стороной катушечной группы. Кроме того, для данного шага должны быть заготовлены катушки с разными формами лобовых частей. Число их зависит от числа плоскостей, в которых располагаются лобовые части обмотки. Например, если сторона катушечной группы занимает четыре паза ($q = 4$), а лобовые части расположены в трех плоскостях, то для выполнения обмотки надо изготовить 12 разновидностей катушек, отличающихся одна от другой по шагу и форме лобовых частей. Если учесть, что для каждой разновидности требуется изготовить отдельный шаблон, а концы катушек надо соединять и спаивать, то становится ясно, как сложны и трудоемки концентрические обмотки.

В противоположность концентрической двухслойная обмотка характеризуется тем, что она выполняется из однотипных катушек, которые имеют одинаковый шаг и одинаковую форму. Соединения между витками производятся непрерывным проводом в процессе намотки катушки на шаблоне. Число соединений между катушками также может быть уменьшено за счет намотки непрерывным проводом катушечных групп из двух или трех катушек, которые вкладывают сразу в два или три паза в зависимости от схемы обмотки.

В двухслойной обмотке шагом катушки называется расстояние между верхней и нижней сторонами катушки, выраженное номерами пазов, в которых лежат стороны катушки. Шаг указывается в чертежах и обмоточных записках и обозначается буквой $y$ со значком $z$ ($y_z$). Шаг обмотки может быть нормальным или укороченным.

Нормальный шаг обмотки определяется делением числа пазов на число полюсов. Например, если число пазов равняется 36, а обмотка выполнена на число полюсов $2p = 6$, то нормальный шаг обмотки будет:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{36}{6} = 6.$$



Следовательно, катушка обмотки должна быть вложена в 1 и 7-й пазы.

Когда шаг выражается одним числом, это может быть понято неправильно. Например, в данном случае, если указать, что шаг обмотки равняется 6, то неопытный обмотчик может подумать, что одну сторону катушки надо вложить в 1-й паз, а другую — в 6-й. Во избежание таких недоразумений обычно на чертежах шаг обмотки по пазам выражают не одним числом, а номерами тех пазов, в которые должны быть вложены стороны катушки. Тогда вместо $y_z = 6$ пишут: шаг обмотки 1—7. Это читается так: шаг обмотки из 1-го паза в 7-й.

Если обмотка выполнена на два полюса, то нормальный шаг при $2p = 2$ будет охватывать половину окружности статора, а стороны катушек будут расположены в диаметрально противоположных пазах. Поэтому нормальный шаг называют также диаметральным шагом.

Однако обмотки с диаметральным шагом применяются редко. Большинство обмоток статора делается с укороченным шагом, так как укорочение шага обмотки улучшает электрические свойства машины. Кроме того, укорочение шага дает экономию меди в лобовых частях, так как при уменьшении ширины катушки укорачиваются и лобовые части. Обычно укорочение шага делают на $^1/_5$ диаметрального шага. Например, если диаметральный шаг обмотки получается равным 10, то укороченный шаг берут равным 8.

В двухслойной обмотке последовательно соединенные рядом лежащие катушки образуют катушечную группу. Но по виду уложенной обмотки трудно определить число катушечных групп, потому что все они имеют симметричную форму и по расположению напоминают плетеную корзину. В однослойных концентрических обмотках легко было установить число катушечных групп и по нему рассчитать число полюсов машины.

В двухслойной обмотке число полюсов можно определить только по шагу обмотки.

**Пример 1**. Статор имеет 48 пазов, а катушки уложены из 1-го паза в 7-й ($y_z = 6$). Разделив 48 : 6, получим 8. Следовательно, такая обмотка выполнена на 8 полюсов.

**Пример 2**. Статор имеет 90 пазов, а шаг обмотки 1—9; требуется определить число полюсов машины. Если катушки вкладываются в 1—9-й пазы, то шаг обмотки $y_z = 8$. Чтобы определить число полюсов, надо число пазов разделить на шаг обмотки. Но 90 не делится без остатка на 8, а число полюсов должно обязательно выражаться целым четным числом. В данном случае имеем укороченный шаг. Для определения диаметрального шага надо подобрать ближайшее большее число, на которое 90 делится без остатка. Таким числом будет 9. Число полюсов определим, разделив 90 на 9. Значит, данная машина имеет 10 полюсов.

Изменяя шаг обмотки и число катушек в катушечной группе, тот же статор можно намотать на другое число полюсов.

У машин трехфазного тока от числа полюсов зависит скорость вращения ротора. Почти все машины питаются от сети с частотой 50 пер/сек. При

этом ток в проводах обмотки меняет направление 100 раз в секунду. Если обмотка выполнена на два полюса, то при частоте 50 *гц* ротор должен вращаться со скоростью 50 об/сек или $50 \times 60 = 3000$ об/мин.

В четырехполюсной машине при одном обороте ротора в обмотке происходит изменение направления тока, соответствующее двум периодам. Поэтому число оборотов ротора уменьшается вдвое.

Скорость вращения ротора $n$ для машины с любым числом полюсов может быть определена по формуле

$$n = \frac{6000}{2p} \text{ об/мин},$$

в которой числитель получается от умножения числа секунд в минуте (60) на двойное число периодов переменного тока $(2 \times 50)$, а знаменатель означает число полюсов машины.

Пользуясь этой формулой, можно составить следующую таблицу.

Таблица 4

**Зависимость скорости вращения от числа полюсов**

| Число полюсов $2p$ | Скорость вращения ротора $n$ об/мин | Число полюсов $2p$ | Скорость вращения ротора $n$ об/мин |
|---|---|---|---|
| 2 | 3000 | 20 | 300 |
| 4 | 1500 | 24 | 250 |
| 6 | 1000 | 28 | 214 |
| 8 | 750 | 30 | 200 |
| 10 | 600 | 32 | 187,5 |
| 12 | 500 | 36 | 166,8 |
| 14 | 428 | 40 | 150 |
| 16 | 375 | 50 | 120 |
| 18 | 333,3 | 60 | 100 |

Для синхронных машин в табл. 4 указано действительное число оборотов ротора, а у асинхронных электродвигателей вследствие скольжения ротор вращается с несколько меньшей скоростью.

## СХЕМЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

В двухслойных обмотках, как и в однослойных, важным показателем, характеризующим обмотку, является число пазов на полюс и фазу. Число пазов на полюс и фазу определяется так же, как и для однослойных обмоток, т. е.

$$q = \frac{z}{3 \times 2p} = \frac{z}{6p}.$$

Например, для обмотки, расположенной в 48 пазах и намотанной на 8 полюсов, число пазов на полюс и фазу будет:

$$q = \frac{48}{3 \times 2p} = \frac{48}{3 \times 8} = 2.$$



В концентрических обмотках число пазов на полюс и фазу можно легко определить по виду обмотки, так как это будет число пазов, занимаемых одной стороной катушечной группы. В двухслойной обмотке число пазов на полюс и фазу нельзя определить по внешнему виду обмотки, но его можно рассчитать, зная число пазов и число полюсов. Общее число катушек двухслойной обмотки равно числу пазов, так как каждая катушка занимает две половины паза, что равносильно одному пазу. Для уменьшения числа паек в соединениях между катушками обычно их наматывают непрерывным проводом группами по нескольку катушек, в

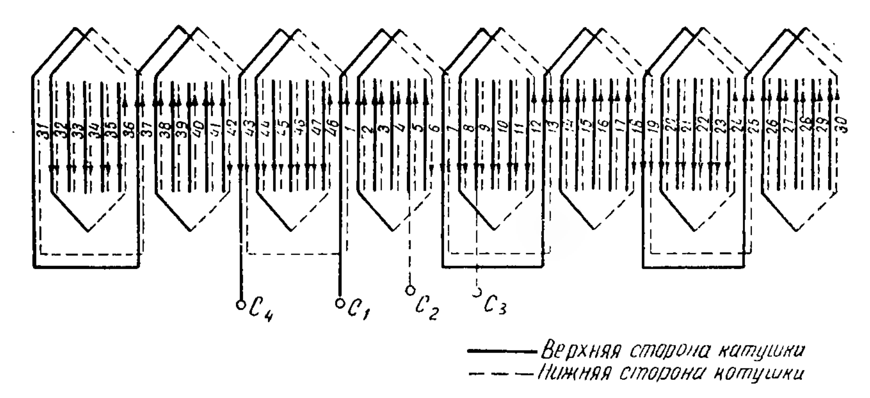



Рис. 56. Схема двухслойной обмотки статора

зависимости от числа пазов на полюс и фазу. Помимо сокращения рабочего времени на паяние, непрерывная намотка катушечных групп значительно упрощает процесс их соединения и уменьшает возможность ошибок при выполнении соединений по схеме. Это объясняется тем, что при выполнении схемы приходится иметь дело с меньшим числом выводов.

Число катушечных групп в фазе равно числу полюсов, а во всей обмотке $3 \times 2p = 6p$, т. е. вдвое больше, чем в однослойных двухплоскостных обмотках.

На рис. 56 дана развернутая схема двухслойной обмотки со следующими данными:

$$z = 48; \quad 2p = 8; \quad q = 2.$$

Для большей наглядности схемы в ней показаны соединения проводов только одной фазы. Первый паз помещен не с краю схемы, а в середине. Разрез схемы выбран так, чтобы ни одно соединение между катушечными группами не было разорвано. Из схемы видно, что обмотка имеет шаг из 1-го паза в 6-й, так как верхняя сторона первой катушки, изображенная сплошной линией, лежит в 1-м пазу, а нижняя ее сторона, изображенная пунктирной линией, лежит в 6-м пазу. Таким образом, шаг обмотки $y_z = 5$.

Диаметральный шаг обмотки был бы:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{48}{8} = 6.$$

Следовательно, имеем обмотку с укороченным шагом. Число пазов на полюс и фазу этой обмотки будет:

$$q = \frac{z}{3 \times 2p} = \frac{48}{3 \times 8} = 2.$$

Каждая катушечная группа состоит из двух катушек. Соединения между катушками в катушечной группе осуществляются непрерывным проводом и изображены в нижней части схемы. Теперь проследим расположение катушечных групп первой фазы на статоре и их соединение. Начало первой фазы берем из верхней части 1-го паза. Первая катушечная группа занимает верхние части 1 и 2-го пазов и нижние части 6 и 7-го пазов.

Оставим свободными четыре верхние стороны паза для катушек других фаз. Они лежат в 3, 4, 5 и 6-м пазах. Следующая катушечная группа первой фазы должна лежать верхними сторонами в 7 и 8-м пазах, а нижними — в 12 и 13-м. Аналогично третья катушечная группа первой фазы лежит верхними сторонами в 13 и 14-м пазах, а нижними — в 18 и 19-м пазах. Таким образом, как в верхнем слое, так и в нижнем слое обмотки остаются свободными по четыре половины паза для катушек других фаз.

Посмотрим, как соединяются между собой выводы отдельных катушечных групп первой фазы. Конец первой катушечной группы выходит из 7-го паза и должен быть соединен с одним из выводов второй катушечной группы. Первая и вторая катушечные группы фазы, смещенные на одно полюсное деление, должны быть разной полярности: одна северная, другая южная. Для этого необходимо, чтобы направление тока в них было обратное. В первой катушечной группе, как указано стрелками, ток течет в катушке по направлению часовой стрелки. Чтобы во второй группе направление тока было противоположное, нужно соединить конец первой группы, выходящий из 7-го паза, с концом второй группы, выходящим из 13-го паза, как показано на схеме пунктирными линиями. Тогда направление тока в этой группе будет против часовой стрелки. Остался свободный вывод от начала второй группы, выходящий из 7-го паза. Его надо соединить с одним из выводов третьей катушечной группы. Но третья группа по схеме должна иметь такую же полярность, как и первая, т. е. ток должен обтекать ее по часовой стрелке. Поэтому начало третьей группы, выходящее из 13-го паза, необходимо соединить с началом второй группы, выходящим из 7-го паза. Это соединение показано на схеме сплошными линиями.

Таким образом, *для двухслойных обмоток* получаем правило: *при соединении катушечных групп надо соединять одноименные*



*выводы, т. е. начало группы с началом следующей и конец группы с концом следующей.*

После того как все катушечные группы будут соединены, начало последней катушки первой фазы выйдет из верхней части 43-го паза. Вывод из 1-го паза является началом первой фазы ($C_1$), а вывод из 43-го паза — концом фазы ($C_4$).

Укладка катушек только для одной фазы показана с целью облегчить изучение схемы. При обмотке статора катушки всех фаз вкладываются в пазы подряд и затем производится соединение катушечных групп в каждой фазе.

Как же выбрать расположение начал второй и третьей фаз. Они должны выходить из верхней части паза так же, как и начало первой фазы. Для определения номеров пазов, из которых будут выходить начала фаз, надо руководствоваться тем же правилом, с которым мы познакомились в концентрических обмотках, т. е. начала фаз должны быть сдвинуты на 120 электрических градусов. В схеме на рис. 56 восемь полюсов; в окружности статора будет $360 \times p = 360 \times 4 = 1440$ электрических градусов.

Угол между соседними пазами будет $1440 : 48 = 30$ электрических градусов.

Между началом первой фазы и началом второй фазы должно быть $120 : 30 = 4$ пазовых деления. Если отсчитаем от первого паза 4 пазовых деления, получим 5-й паз. Таким образом, начало второй фазы ($C_2$) будет выходить из 5-го паза, а начало третьей фазы ($C_3$) — из 9-го паза. После определения начал второй и третьей фаз можно нанести на схему соединения катушек и катушечных групп аналогично первой фазе. Для проверки правильности схемы следует определить, из каких пазов будут выходить концы фаз. Они также должны быть удалены друг от друга на 120 электрических градусов, поэтому должны выходить из верхней части 47-го паза (вторая фаза) и верхней части 3-го паза (третья фаза). Если концы будут выходить из этих пазов, то схема выполнена правильно.

В машинах, у которых ток в фазе большой, делают соединение катушечных групп не последовательное, а параллельное. На рис. 57 показаны три варианта соединения катушечных групп четырехполюсной обмотки. На рис. 57, *а* все катушечные группы соединены последовательно, на рис. 57, *б* они соединены в две параллельные ветви, при этом ток фазы разделяется также на две параллельные ветви и по каждой ветви протекает половина тока фазы. На рис. 57, *в* обмотка соединена в четыре параллельные ветви и по каждой ветви протекает четверть тока фазы.

На схемах изображены катушечные группы только одной фазы и указаны их номера 1, 4, 7 и 10. Пропущенные номера будут заняты катушечными группами других фаз.

Параллельные соединения должны быть выполнены так, чтобы направление тока в проводах и полярность полюсов остались теми же, какими они были при последовательном соедине-

нии. Это достигается соответствующим присоединением выводов катушечных групп к соединительным проводам. Направления токов и полярность полюсов обозначены на всех трех схемах.

В двухслойных обмотках наибольшее возможное число параллельных ветвей равно числу полюсов.

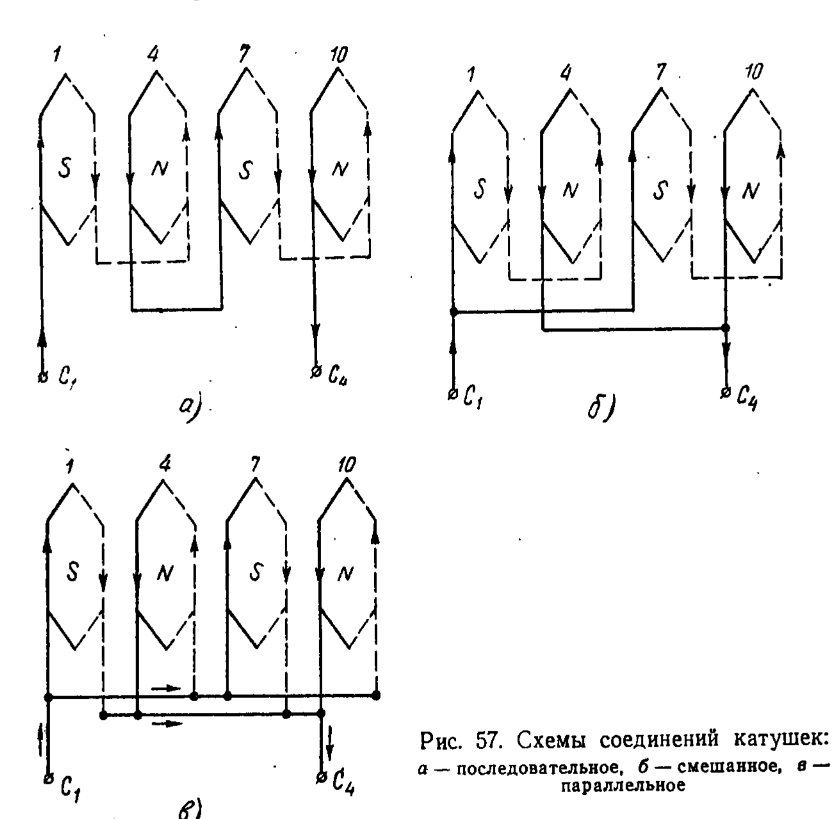



Рис. 57. Схемы соединений катушек:
*а* — последовательное, *б* — смешанное, *в* — параллельное

На рис. 58 показана схема обмотки, которая была изображена на рис. 56, с той разницей, что катушечные группы в ней соединены в две параллельные ветви. На этой схеме показаны соединения только в одной фазе. Соединения в двух других фазах должны быть выполнены совершенно аналогично.

Рассматривая схему на рис. 56, можно заметить, что в 6-м пазу направления токов в верхнем и нижнем проводах обратные. То же самое можно наблюдать в других пазах, отстоящих от 6-го паза на величину нормального шага, т. е. в 12, 18-м пазах и т. д. Это всегда наблюдается в обмотках с укороченным шагом. В каждой зоне между двумя полюсными делениями будут пазы с встречным направлением токов. Число таких пазов в зоне зависит от того, на сколько пазов принято укорочение шага. В этой обмотке нормальный шаг 6, а укороченный 5. Поэтому в каждой



зоне расположено по одному пазу с встречным направлением токов. Чтобы получить требуемую электродвижущую силу в обмотках с укороченным шагом, приходится увеличивать число проводов в пазах.

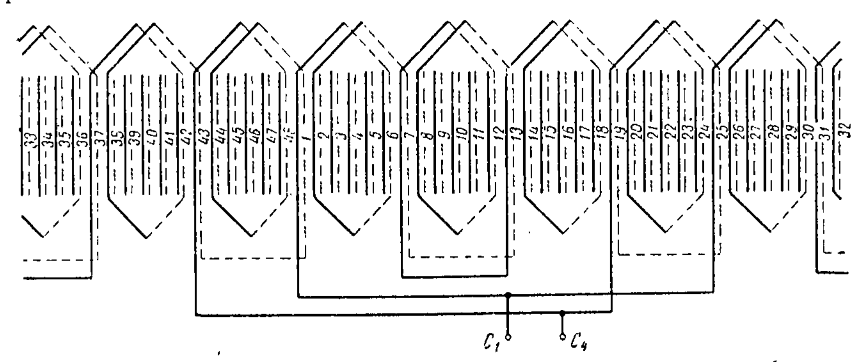



Рис. 58. Схема двухслойной обмотки с двумя параллельными ветвями

## ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Число пазов на полюс и фазу не всегда бывает целым числом. Часто встречаются обмотки, у которых число пазов на полюс и фазу выражается целым числом с дробью. В асинхронных двигателях дробное число пазов на полюс и фазу обычно получается в тех случаях, когда один и тот же статор обматывают на разное число полюсов. Тогда при одном и том же числе пазов статора число пазов на полюс и фазу для одной обмотки получается целым, а для другой обмотки — дробным.

**Пример 1.** Статор, имеющий 36 пазов, обматывается на 6 полюсов. Такой двигатель имеет около 1000 об/мин, и число пазов на полюс и фазу у него будет:

$$q = \frac{36}{3 \times 6} = 2.$$

Пусть этот же двигатель требуется перемотать на меньшее число оборотов — 750 об/мин, т. е. на 8 полюсов. Тогда число пазов на полюс и фазу будет:

$$q = \frac{36}{3 \times 8} = 1\frac{1}{2}.$$

В синхронных генераторах, когда число пазов на полюс и фазу меньше 4, его умышленно делают дробным при проектировании машины; этим улучшаются электрические свойства машин.

Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу могут быть выполнены как из одиночных катушек, так и из намотанных непрерывным проводом катушечных групп. Разница по сравнению с обмотками, имеющими целое число пазов на полюс и фазу, заключается в том, что при дробном числе обмотку приходится

комбинировать из разных групп. При этом в каждой фазе должно быть одинаковое число пазов, иначе обмотка получится несимметричной. Обычно обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу комбинируется из двух типов катушечных групп, причем в одной группе число катушек равно целой части числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, а в другой группе число катушек на одну больше.

Например, если число пазов на полюс и фазу равно $2\frac{1}{2}$, то обмотка составляется из чередующихся групп, имеющих по две и три катушки. Причем после каждой группы из двух катушек следует группа из трех катушек.

Таким образом, в результате чередования получается число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{2+3}{2} = \frac{5}{2} = 2\frac{1}{2}.$$

Такое простое сочетание катушечных групп получается только в том случае, когда дробная часть числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, равна $\frac{1}{2}$. При других дробях комбинирование катушечных групп получается более сложным. Иногда дробное сочетание выражают в виде неправильной дроби $q = \frac{c}{d}$. Для данного примера $c = 5$, а $d = 2$.

Для получения симметрии обмотки необходимо, чтобы $\frac{z}{t \cdot m} =$ целому числу. Это условие является достаточным для двухслойной обмотки. Для однослойной обмотки необходимо, кроме того, чтобы $\frac{z}{2m} =$ целому числу,

где $z$ — число пазов;
$m$ — число фаз;
$t$ — общий наибольший делитель для $z$ и $p$.

Обмотка не может быть симметричной, если знаменатель дроби равен трем. Тем не менее такие обмотки встречаются в практике. Распределение катушечных групп в обмотке с дробным числом пазов на полюс и фазу легко сделать при помощи следующей таблицы. На клетчатой бумаге составляется таблица с числом строк, равным числу полюсов, и числом клеток в строке, равным 3 $c$, где $c$ — числитель неправильной дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу.

Таблица разделяется на три одинаковых по ширине столбца с числом клеток в столбце, равным $c$. Затем в клетки выписываются в последовательном порядке номера пазов с шагом между ними, равным $d$ клеткам, где $d$ — знаменатель дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу.



Пример 2. Составить схему двухслойной обмотки со следующими данными: $z = 27$, $2p = 6$, $m = 3$, $q = 1\frac{1}{2} = \frac{3}{2}$. Для этой обмотки $t = 3$, $\frac{z}{tm} = \frac{27}{3 \times 3} = 3$.

Таким образом, обмотка удовлетворяет условиям симметрии.

Составим табл. 5.

Будем читать горизонтальные строки таблицы и записывать обозначения фаз столько раз, сколько номеров стоит в столбце фазы. Это покажет группировку катушек по фазам:

ААСВВАССВААСВВАССВААСВВАССВ.

Буквы обозначают фазы, а число одинаковых букв подряд показывает, сколько катушек содержится в катушечной группе. Для данной обмотки необходимо заготовить 9 катушечных групп по две катушки и 9 одиночных. Они займут $(9 \times 2) + 9 = 27$ пазов. При укладке в пазы следует согласно группировке после каждой катушечной группы, состоящей из двух катушек, класть катушечную группу, состоящую из одной катушки. Схема обмотки показана на рис. 59.

**Пример 3.** Обмотка имеет следующие данные: $z = 84$, $2p = 20$, $q = 1\frac{2}{5} = \frac{7}{5}$.

Сначала проверим симметрию обмотки. Для $z$ и $p$ есть общий делитель 2.

Условие симметрии $\left(\frac{84}{2 \cdot 3} = 14\right)$ выполняется.

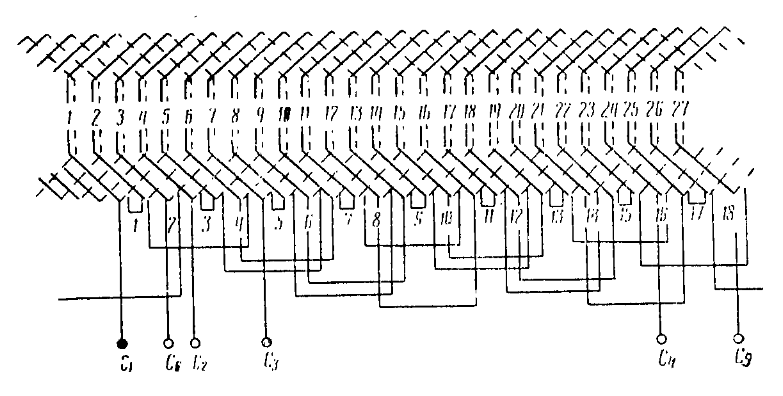


Рис. 59. Схема двухслойной обмотки статора с дробным числом пазов на полюс и фазу

Построим табл. 6 с числом клеток 7 в каждом столбце и начнем вписывать номера пазов с шагом 5, т. е. пропуская по 4 клетки. Таблицу не придется строить для всех 20 полюсов, так

как после 5 (по числу $d$) строк приходи[illegible] к положению симметричному с первой строкой.

Составляем табл. 6 распределения пазов и катушечных групп по фазам.

Таблица 5

**Распределение пазов и катушек по фазам обмотки со следующими данными:**

$$z = 27,\ 2p = 6,\ q = 1\frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

| Фазы / Полюсы | Фаза A | | | Фаза C | | | Фаза B | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *N* | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 |
| *S* | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | |
| *N* | 10 | | 11 | | 12 | | 13 | | 14 |
| *S* | | 15 | | 16 | | 17 | | 18 | |
| *N* | 19 | | 20 | | 21 | | 22 | | 23 |
| *S* | | 24 | | 25 | | 26 | | 27 | |

Таблица 6

**Распределение пазов и катушек по фазам обмотки со следующими данными:**

$$z=84,\ 2p=20,\ q= 1\frac{2}{5} = \frac{7}{5}$$

| Фазы / Полюсы | Фаза A | | | | | | | Фаза C | | | | | | | Фаза B | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *N* | 1 | | | | | 2 | | | | | 3 | | | | | 4 | | | | | 5 |
| *S* | | | | | 6 | | | | | 7 | | | | | 8 | | | | | 9 | |
| *N* | | | | 10 | | | | | 11 | | | | | 12 | | | | | 13 | | |
| *S* | | | 14 | | | | | 15 | | | | | 16 | | | | | 17 | | | |
| *N* | | 18 | | | | | 19 | | | | | 20 | | | | | 21 | | | | |
| *S* | 22 | | | | | 23 | | | | | 24 | | | | | 25 | | | | | 26 |



[illegible]СВВАСВВАССВАССВААСВААСВВ и т. д.

Катушечные группы расположены в таком порядке:

(2—1—2—1—1) — (2—1—2—1—1) — (2—1—2—1—1).

Как видно из порядка чередования, оно через 5 цифр повторяется.

Следовательно, порядок укладки катушечных групп будет следующий:

двойная — одиночная — двойная — одиночная — одиночная и т. д.

Сумма цифр в одном чередовании показывает число катушек, равное 7.

Всего катушек должно быть 84, и поэтому во всей обмотке будет $\frac{84}{7} = 12$ чередований. В каждом чередовании две двойные катушечные группы (из двух катушек) и три одиночные катушки. Всего на статор потребуется 24 катушечные группы из двух катушек и 36 одиночных катушек.

При помощи таких таблиц можно определить чередование катушечных групп для любой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

В табл. 7 показано чередование катушечных групп для наиболее часто встречающихся в практике чисел пазов на полюс и фазу.

Таблица 7

**Порядок чередования катушек при дробных числах пазов на полюс и фазу**

| Число пазов на полюс и фазу | Порядок чередования групп |
|---|---|
| $1^1/_2$ | (1—2), (1—2), (1—2) и т. д. |
| $1^1/_4$ | (1—1—1—2), (1—1—1—2) и т. д. |
| $1^3/_4$ | (1—2—2—2), (1—2—2—2) и т. д. |
| $1^1/_5$ | (1—1—1—1—2), (1—1—1—1—2) и т. д. |
| $1^2/_5$ | (2—1—2—1—1), (2—1—2—1—1) и т. д. |
| $1^3/_5$ | (1—2—1—2—2), (1—2—1—2—2) и т. д |
| $2^1/_2$ | (2—3), (2—3) и т. д. |
| $3^1/_4$ | (3—3—3—4), (3—3—3—4) и т. д. |
| $4^1/_5$ | (4—4—4—4—5), (4—4—4—4—5) и т. д. |

Если целое число перед дробью больше 1, то в таблице чередования надо прибавить к каждой цифре разницу между этим числом и единицей. Так, например при $q = 1\frac{1}{2}$ в таблице чередуются катушечные группы из 1 и 2 катушек (1—2), а при $q = 2\frac{1}{2}$ при такой же последовательности чередуются катушечные группы из 2 и 3 катушек (2—3).

Цифры в данной таблице чередуются не в беспорядке, а определенными периодами. Число цифр в периоде равно знаменателю неправильной дроби $d$, а сумма цифр в периоде равна числителю неправильной дроби $c$. Например, при $q = 1\frac{3}{5} = \frac{8}{5}$ период состоит из пяти цифр (1—2—1—2—2). Сумма этих цифр равна 8, т. е. числителю дроби.

В табл. 7 периоды поставлены в скобки.

## СХЕМА ОБМОТКИ ДВУХСКОРОСТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Как было сказано выше, скорость вращения асинхронного двигателя зависит от числа полюсов. На этом принципе основано устройство двухскоростных электродвигателей. Эти двигатели могут работать при двух разных скоростях вращения, одна из которых обычно в два раза больше другой. Например, 3000 и 1500 или 1000 и 500 оборотов в минуту.

Изменение скорости вращения ротора производится переключением числа полюсов при помощи переключателя. Для переключения обмотки в схеме предусматриваются дополнительные отпайки, концы от которых выведены на дощечку зажимов.

У двухскоростных асинхронных электродвигателей ротор делается с короткозамкнутой обмоткой, у которой число полюсов устанавливается автоматически в зависимости от числа полюсов статора.

На рис. 60 дана схема обмотки статора двухскоростного электродвигателя на 1000 и 500 оборотов в минуту. Соответственно число полюсов в обмотке будет 6 при 1000 оборотах в минуту и 12 при 500 оборотах в минуту. Одновременно с переключением числа полюсов меняется и число пазов на полюс и фазу, которое при 6 полюсах равно 3, а при 12 полюсах — 1,5. На этой схеме шаг обмотки равен 6 (из 1-го паза в 7-й). Для шестиполюсной обмотки при 54 пазах в статоре это будет укороченный шаг, а для двенадцатиполюсной обмотки он является удлиненным, так как нормальный шаг должен был бы быть 4,5.

Здесь показано соединение проводов только в одной фазе обмотки. Секции вкладываются в пазы, так же как и у простых обмоток, но соединение групп производится иначе. Во-первых, группы соединяются не подряд, а через одну, и производится соединение не одноименных, а разноименных выводов, т. е. соединение конца с началом. После обхода трех групп делается отводка на дощечку зажимов, обозначенная буквой $O$.

Если ток протекает по фазе от начала фазы $H$ к концу фазы $K$, то направление токов в проводах будет соответствовать направлению стрелок. Такое направление токов будет при соединении обмотки на 12 полюсов, как указано на схеме внизу слева. Если же ток будет направлен из сети в отводку $O$, то в одной ветви обмотки направление токов сохранится, а в другой изменится на



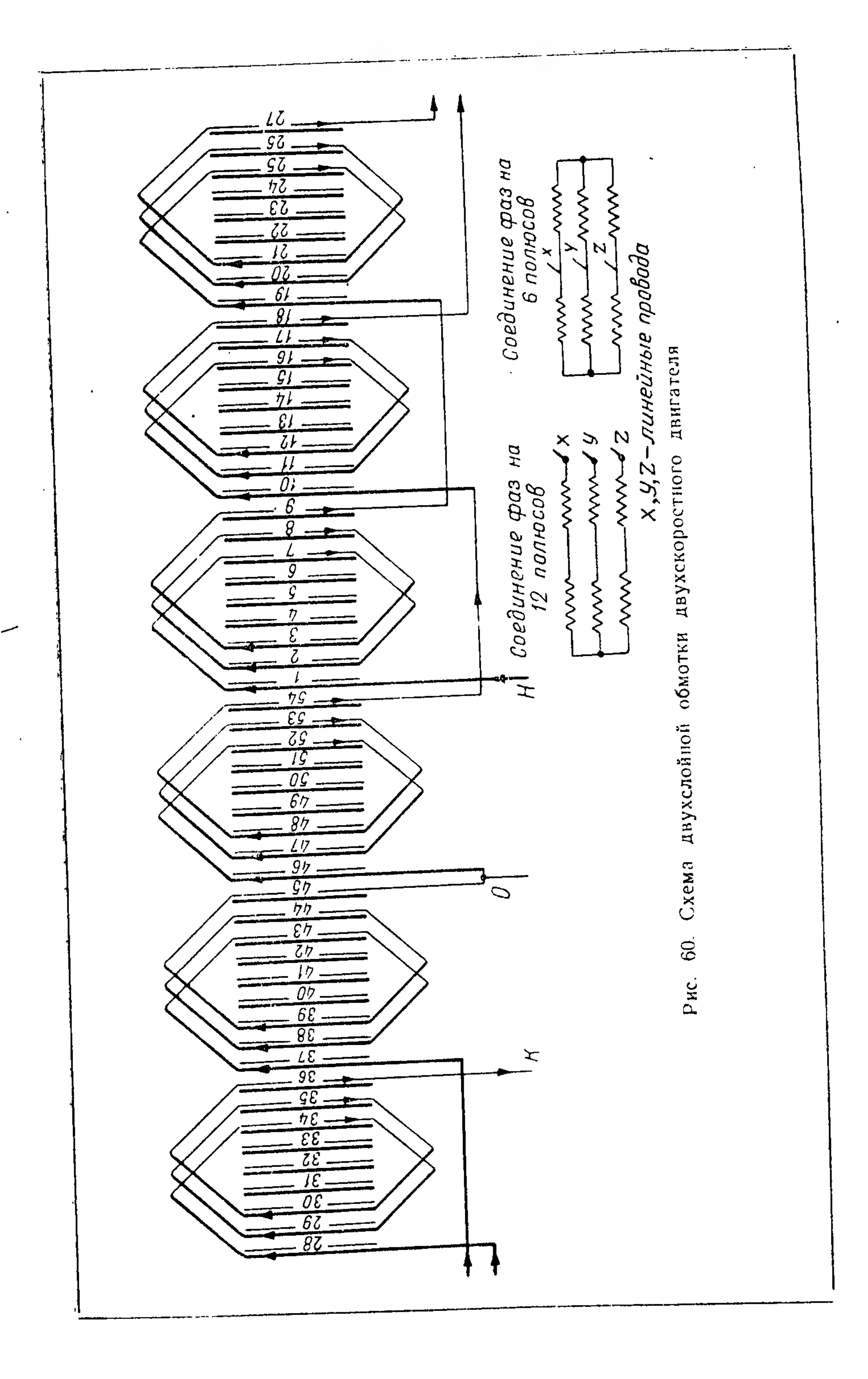



Рис. 60. Схема двухслойной обмотки двухскоростного двигателя

обратное. Соответственно изменится и число полюсов обмотки, которое будет равно 6.

Такое направление токов будет при включении обмоток по схеме, данной на рис. 60, внизу справа.

Двухскоростные электродвигатели очень удобны для применения в тех случаях, когда требуется изменение числа оборотов в широких пределах. Благодаря переключению электродвигателя на разное число оборотов можно значительно упростить, а иногда и совершенно устранить зубчатые передачи с переключением шестерен для изменения числа оборотов приводного механизма. Эти передачи занимают много места, требуют сложной обработки, тогда как в электродвигателе это осуществляется простым изменением схемы без всяких дополнительных деталей, кроме трех лишних выводов.

Намотка катушек и укладка их в пазы у двухскоростных двигателей производится так же, как и у обычных двигателей.

В последнее время стали применять также трех- и четырехскоростные электродвигатели, которые получили название многоскоростных. Эти электродвигатели имеют две обмотки на статоре.

## ИЗОЛИРОВКА ПАЗОВ И НАЖИМНЫХ ШАЙБ

Прежде чем приступить к укладке катушек в пазы, статор тщательно продувают сжатым воздухом, очищая его от пыли и опилок, которые могут вызвать пробивание изоляции, а затем заготовляют пазовую изоляцию.

Для машин напряжением до 500 *в* пазовая изоляция обычно состоит из двух слоев электрокартона толщиной 0,2—0,3 *мм* с проложенным между ними слоем лакоткани. На рычажных ножницах нарезают полосы лакоткани и электрокартона. Ширина полос лакоткани и наружного слоя электрокартона равна периметру паза, а внутреннего слоя на 20 *мм* шире. В процессе намотки выступающий из паза внутренний слой электрокартона (см. рис. 18) служит для того, чтобы провода катушки не повреждались об острые края зубцов и не попадали между пазовой изоляцией и стенками паза. Длина всех слоев пазовой изоляции должна быть такой, чтобы они выступали из паза на 10—20 *мм* с каждой стороны.

Нажимные шайбы статора изолируют несколькими полосками электрокартона, толщину и количество которых подбирают так, чтобы они доходили до дна паза и служили опорой для выступающих из паза концов пазовой изоляции, предохраняя ее от разрыва при отгибании лобовых частей обмотки.

## ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВОРОТА СТАТОРА ПРИ ОБМОТКЕ

В процессе обмотки статоров появляются операции, требующие затраты значительных физических усилий. Так, например, поворачивать статор электродвигателя вручную очень трудно, а при поворотах краном часто уходит много времени на ожидание крана.

На рис. 61 показан поворотный стол для обмотки статоров средних размеров. Стол расположен на одном уровне с поверхностью верстака *8*, в котором вырезаны круглые гнезда. Стол состоит из верхнего поворотного диска *1* и нижнего неподвижного диска *6*, прикрепленного к верстаку болтами *5*. В дисках проточены канавки, в которые уложены стальные шарики *4*, обеспечивающие легкое вращение диска. Ось вращения *7* неподвижно укреплена в нижнем диске. В верхнем диске запрессована бронзовая втулка *2*, в которой просверлено отверстие для смазки. Для фиксации положения верхнего диска служит защелка *3*, которая входит в пазы верхнего диска. Поворотный стол значительно облегчает труд обмотчиков и повышает производительность труда. Внедрение стола позволило производить обмотку статора одному обмотчику, который, не сходя с места, поворачивает статор к себе то одной, то другой стороной. До изготовления поворотного стола обмотка производилась двумя обмотчиками.

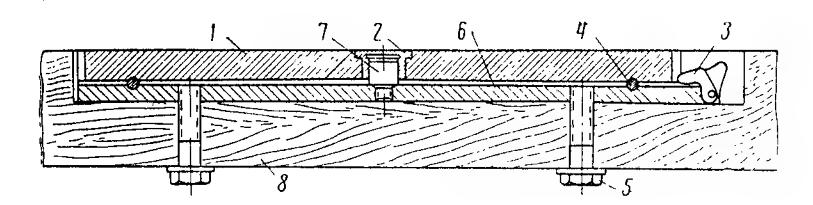



Рис. 61. Поворотный стол для обмотки статоров

Для обмотки статоров больших габаритов применяется приспособление для поворачивания статора вокруг горизонтальной оси (рис. 62). Перед установкой на приспособление с обеих сторон статора болтами *9* укрепляют кольца *10*, центрирующиеся по заточке в станине планками *11*. Затем статор устанавливают краном на ролики поворотного приспособления *3* и *7*, на которые он опирается кольцами *10*. Три ролика *3* гладкие, а ведущий ролик *7* имеет канавку, в которую входит борт кольца *10*. Поворот статора в любую сторону осуществляется червячной передачей, состоящей из червячного винта *6* и шестерни *8* с помощью съемной рукоятки *1*. Вращение червяка *6* передается на червячную шестерню *8* с роликом *7*, в трапецеидальную канавку которого входит кромка кольца *10*. Основание приспособления *4* и стойки *5* выполнены сварными. Стойки прикреплены к основанию болтами *2*, и расстояние между ними можно изменять посредством перестановки болтов в пазах. Благодаря внедрению поворотного приспособления на обмотке статоров крупных габаритов производительность труда обмотчиков повысилась почти в два раза.

На рис. 63 показан конвейер карусельного типа для обмотки статоров. Сварной каркас *1* укреплен на чугунной втулке *7*, которая свободно вращается вокруг неподвижной оси *10*, закрепленной в опоре *9*. Осевое давление воспринимает упорный шарикоподшипник *8*. Опора *9* покоится на фундаментной крестовине *6*. Круглая полка *3* разделена перегородками *5* на десять секций по числу рабочих мест на конвейере и служит для укладки материалов и инструментов. Поворотный стол фиксируется защел-

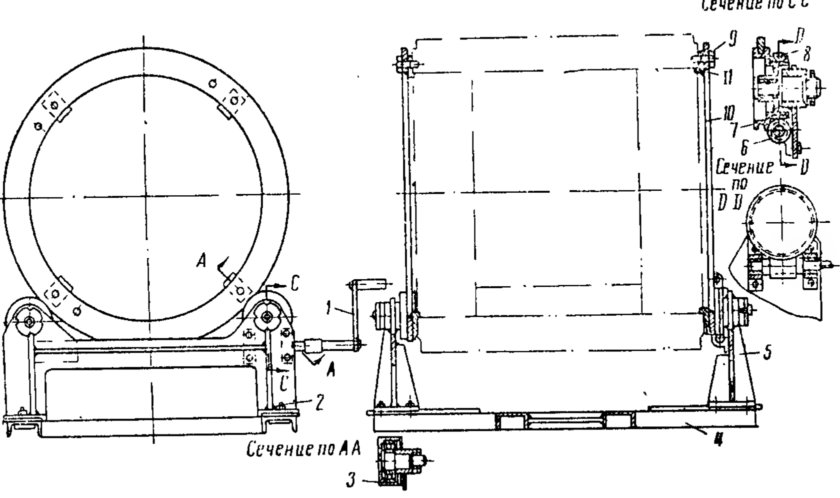



Рис. 62. Приспособление для поворачивания статора

кой *12*, которая входит в отверстие обода *11*, обшитого сверху деревянными досками. Поворот стола легко производится от руки при нажатии на педаль *13*, освобождающую защелку *12*.

Статор электродвигателя ставится на поворотное приспособление *2* в виде роликов. Провода местного освещения проложены в отверстии оси и подведены к трем шаровым светильникам *4*. Диаметр стола при десяти рабочих местах составляет 3 *м*. Одно рабочее место является загрузочным. На него подаются статоры, подготовленные к обмотке с вложенными в пазы гильзами.

## УКЛАДКА КАТУШЕК ВСЫПНОЙ ОБМОТКИ В ПАЗЫ СТАТОРА

При введении конвейера было проведено разделение процесса обмотки на отдельные части со специализацией обмотчиков на определенных операциях, что дало повышение производительности труда на 30—40%.

Во всяком статоре первые катушки укладываются значительно легче и быстрее, чем следующие, у которых труднее укладывать лобовые части. Поэтому на разных рабочих местах укладывается разное число катушек. Например, процесс обмотки ста-



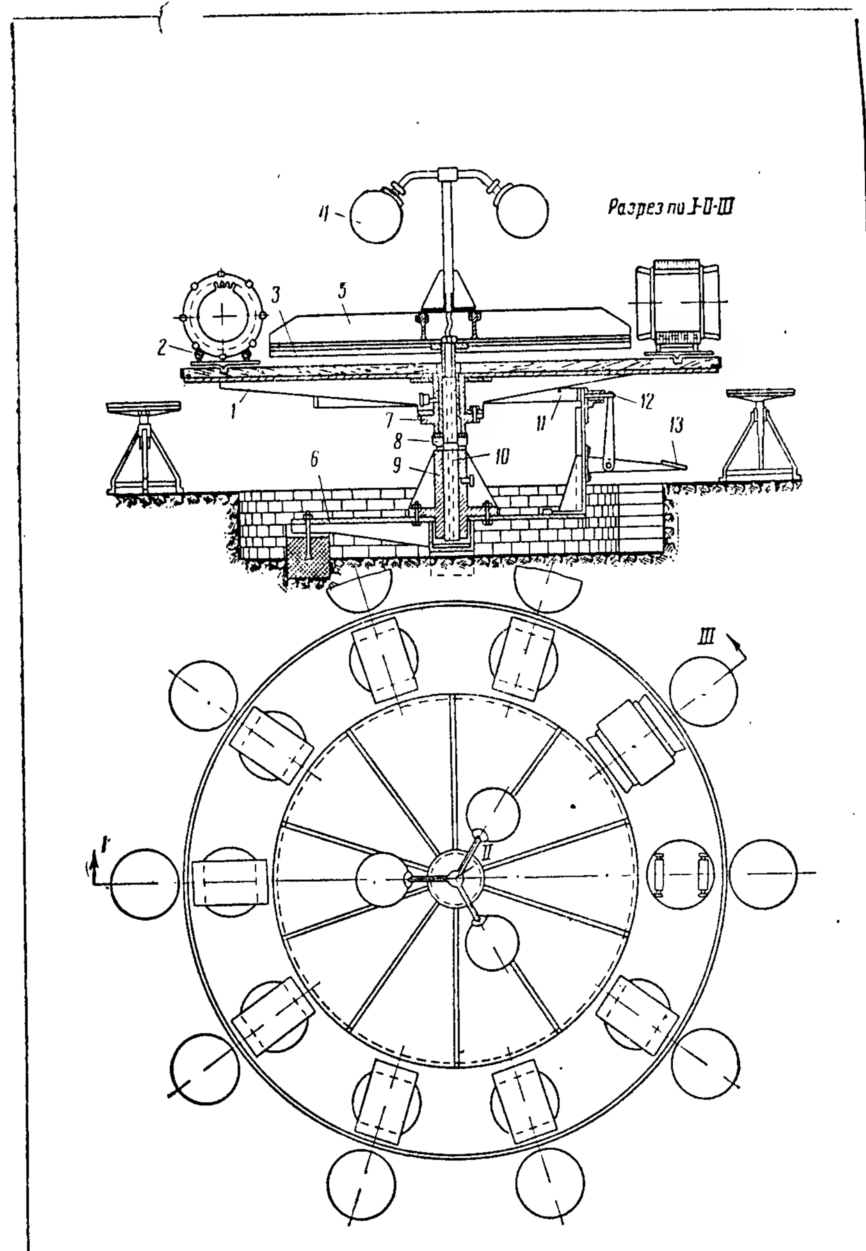



Рис. 63. Обмоточный конвейер карусельного типа

тора двигателя единой серии А-82 раз[illegible] на девять операций в соответствии с числом рабочих мест на конвейере. На первой операции обмотчики вкладывают в пазы десять катушек, на следующих пяти операциях по шести катушек; затем идут две операции по четыре катушки. На последнем девятом рабочем месте производится укладка верхних сторон катушек первого шага, которые оставались не вложенными в пазы, окончательная формовка лобовых частей и сдача статора контролеру. Каждая из девяти операций занимает примерно одно и то же время, что необходимо для установления ритма передвижения конвейера.

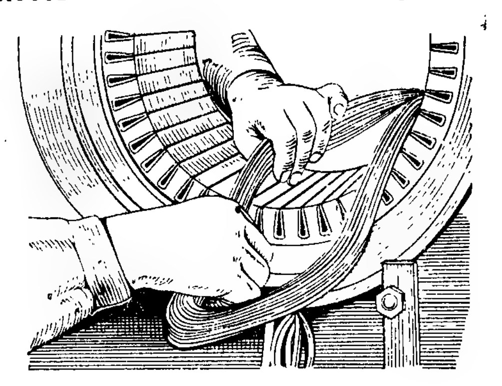


Рис. 64. Укладка в пазы катушки всыпной обмотки

Катушки двухслойной обмотки укладывают в пазы группами так, как они были намотаны в шаблоне. Укладку производят следующим образом. Провода обмотки распределяют в один слой и вкладывают сторону катушки в паз (рис. 64). Сначала в пазы вкладывают стороны катушек, прилегающие к дну паза, а другие стороны оставляют невложенными в пазы до тех пор, пока не будут вложены нижние стороны катушек во все пазы, охватываемые шагом обмотки.

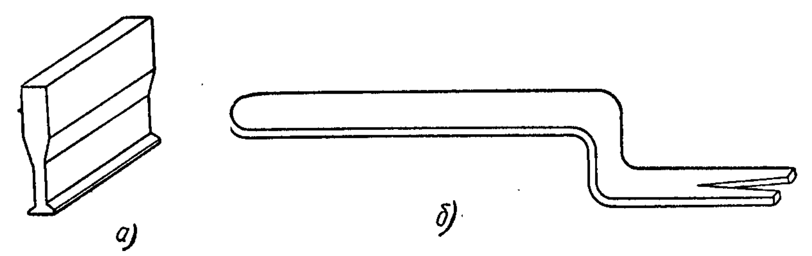



Рис. 65. Инструменты обмотчика:
*а* — оправка, *б* — угловой нож

После этого следующие катушки вкладываются в пазы одновременно нижними и верхними сторонами.

Между верхними и нижними сторонами катушек в пазах устанавливают прокладки из электрокартона толщиной 0,3 *мм*, согнутые в виде скобочки (см. рис. 18). Перед установкой прокладки сжимают нижние стороны катушек, надевают на них прокладку и затем осаживают провода на дно паза металлической оправкой (рис. 65, *а*). Оправку вводят в паз с торца статора. Прокл[illegible] и делают изогнутыми, так как они более надежно отделяют друг от друга провода двух катушек. Это особенно важно в обмотках с укороченным шагом, имеющих в некоторых пазах катушки разных фаз, между которыми действует полное напряжение машины. Такие же прокладки вкладывают между верхней стороной катушки и деревянным клином, удерживающим обмотку в пазах. После заполнения паза проводами внутренний слой пазовой изоляции, выступающий из прорези паза, следует срезать вровень с поверхностью зубцов. Для этого служит специальный угловой нож, показанный на рис. 65, *б*. Этим



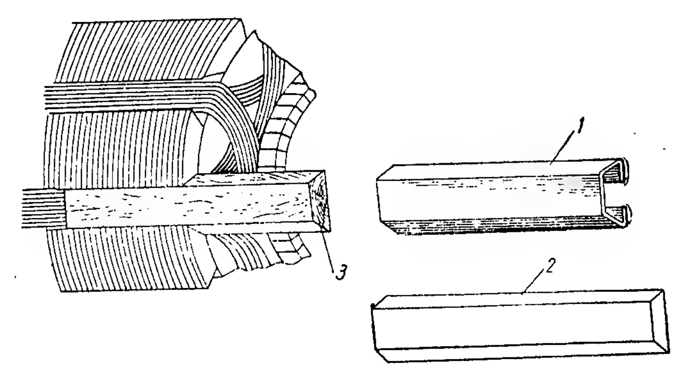



Рис. 66. Приспособление для забивания пазовых клиньев

ножом обмотчик проводит вдоль статора и срезает выступающую кромку электрокартона. Перед забиванием клина необходимо загнуть края изоляционной прокладки при помощи оправки.

Загнутые края прокладки уменьшают полезную площадь паза. Поэтому рационализаторы Харьковского электромеханического завода вместо выступающих краев гильзы применили вкладные фибровые полоски, которые после укладки обмотки вытаскиваются из паза.

В лобовых частях между группами катушек, принадлежащими к разным фазам, ставят прокладки из электрокартона, оклеенного лакотканью. В пазы забивают молотком деревянные клинья специальной формы. От удара молотка торец клина может заминаться и расщепляться. Рационализаторами одного из заводов предложено приспособление, позволяющее предохранить клин от раскалывания и значительно повысить производительность труда (рис. 66). Приспособление может быть применено как для ротора, так и для статора. Оно состоит из обоймы *1*, согнутой из листовой стали. Внутри обоймы может свободно передвигаться стальной стержень *2*, сечение которого равно сечению деревянного клина *3*. Деревянный клин вставляют в обойму и упирают ее в торец статора против паза. Затем в обойму вставляют конец стержня *2* и начинают ударять по нему молотком. При этом деревянный

клин легко входит в паз и не раскалывается. Если статор имеет большую длину, то в паз забивают два или несколько клиньев с обеих сторон статора.

После забивания клиньев лобовые части обмотки отгибают в сторону, противоположную ротору, ударами молотка через фибровую прокладку.

При укладке обмотки статора машин малых размеров сильно затрудняют работу стороны катушек, которые остаются невложенными в пазы в процессе укладки первого полюсного деления

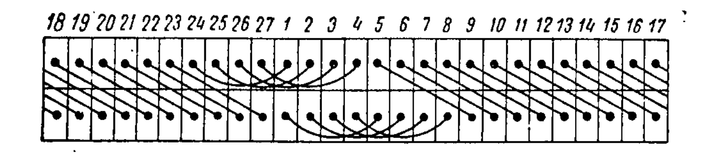



Рис. 67. Схема укладки катушек в пазы

Рационализаторы-обмотчики предложили для таких машин другой порядок укладки катушек в пазы, схематически показанный на рис. 67. При этом способе первые катушки кладутся в пазы сразу двумя сторонами и их осаживают на дно пазов. После того как будет уложено число катушек, охватывающих шаг обмотки, следующие катушки будут укладываться одной стороной на дно паза, а другой — в верхнюю часть паза. Последние катушки будут обеими сторонами занимать верхние части пазов.

## УКЛАДКА ОБМОТОК СТАТОРА В ОТКРЫТЫЕ ПАЗЫ

У машин переменного тока напряжением 3000 *в* и выше статоры имеют открытые пазы, в которые укладываются изолированные катушки статорной обмотки.

Перед началом укладки обмотки статор должен быть тщательно очищен, а пазы опилены и продуты сжатым воздухом. Даже небольшие заусенцы или выступающие острые углы листов статора могут повредить изоляцию и служить причиной пробоя изоляции после укладки обмотки. Затем заготавливают необходимое количество прокладок из электрокартона, руководствуясь указаниями в обмоточной записке. По длине прокладки нарезают на 15—20 *мм* больше, чем длина статора, а по ширине точно равными ширине паза. В процессе укладки обмотки эти прокладки кладут на дно паза между катушками верхнего и нижнего слоя и под пазовые клинья. Заранее должны быть заготовлены шпагат, деревянные или гетинаксовые прокладки для привязки к лобовым частям и парафин, которым натирают шпагат при вязке лобовых частей. Прокладки на дно паза устанавливают до начала укладки катушек и с помощью осадочной доски прижимают их к дну паза так, чтобы с обоих торцов статора выступали одинаковые концы прокладки.



Во время укладки в пазы катушки подвергаются сильным механическим воздействиям и перегибам. Чтобы сделать пропитанную компаундом микаленту более гибкой, катушки перед укладкой в пазы нагревают в термостатах до 85—90° на поверхности изоляции. Расположение катушек в пазу показано на рис. 28, *б*, а вид на лобовые части обмотки — на рис. 68. Для создания вентиляционных каналов лобовые части *1* укладывают не вплотную, а с промежутками *3*. Для образования промежутков к лобовым частям перед нагревом привязывают при помощи шнура деревянные или гетинаксовые дистанционные прокладки *2*. Укладка катушек производится двумя обмотчиками, которые стоят с торцов статора. Если смотреть на катушки со стороны выводов, то обычно правая сторона катушки ложится на дно паза, а левая занимает верхнюю часть паза. Направив в паз правую часть катушки, накладывают на нее пучок, состоящий из нескольких полос картона, обернутых киперной лентой. Осторожными ударами деревянных молотков по пучку картона осаживают сторону катушки равномерно по всей длине статора до половины глубины паза. Затем накладывают на сторону катушки ребро деревянной доски и ударами молотка по доске опускают катушку до дна паза.

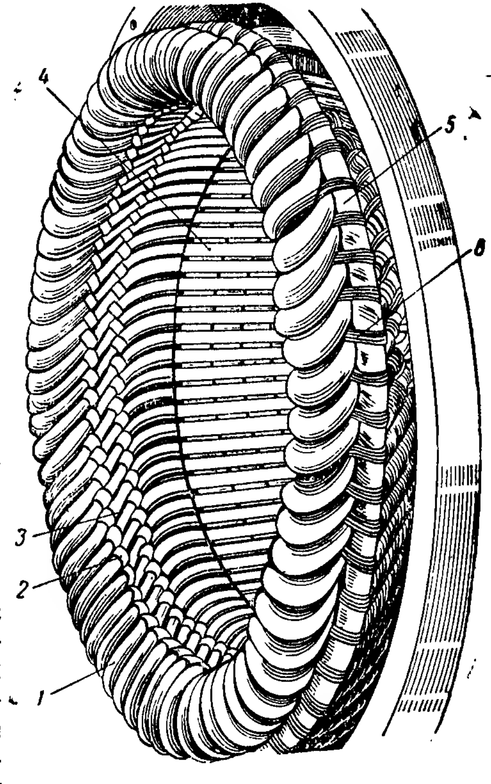



Рис. 68. Обмотанный статор крупной машины

При укладке надо следить за тем, чтобы загибы обеих лобовых частей находились на одинаковых расстояниях от торцов статора. В крупных машинах в углубления на стенках пазов с обоих торцов статора забивают клинообразные стальные планки и опускают катушку на дно паза путем забивания в пазы двух деревянных клиньев по всей длине статора.

После осаживания стороны катушки на дно паза привязывают ее лобовые части шпагатом *6* к бандажным кольцам *5*. В зави-

симости от размеров машины таких колец бывает от одного до четырех с каждой стороны статора. Кольца выгибаются из круглой или квадратной стали и изолируются лентой из лакоткани и микалентой в несколько слоев. Снаружи кольца оплетаются киперной лентой. Бандажные кольца прикрепляют к стальным шпилькам, ввернутым в нажимные шайбы статора и изолированным миканитом. Бандажные кольца имеют двойное назначение. Во-первых, они предохраняют лобовые части от изгибов под действием сил, возникающих при протекании больших токов через катушки. Во-вторых, они помогают ровнее уложить лобовые части и создать симметричные клетки между ними для прохождения струй охлаждающего воздуха.

Левую сторону катушки опускают в верхнюю часть другого паза, удаленного от первого на величину шага обмотки. Нижняя часть паза временно остается незаполненной. В такой же последовательности производится укладка следующих катушек, которые охватывают дугу статора, соответствующую шагу обмотки.

Так, например, если шаг обмотки равен 12, то этим методом укладывается 12 катушек. 13-я катушка обеими сторонами ложится в пазы окончательно. Это объясняется тем, что нижняя сторона паза, в которой должна быть вложена левая сторона 13-й катушки, уже занята правой стороной первой катушки. Чтобы не подвергать катушку большим деформациям, обе стороны катушки опускаются в пазы одновременно. При этом пользуются тем же пучком картонных полос и деревянной осадочной доской. Следующие катушки будут укладываться в пазы аналогично 13-й катушке.

В процессе укладки катушек производится рихтовка лобовых частей. В машинах средней мощности она делается ударами молотка через фибровую прокладку. В крупных машинах приходится прикладывать большие усилия, и для рихтовки лобовых частей пользуются легким домкратом, упирая его одним концом в деревянную доску, приложенную к лобовой части катушки, а другим в доску, положенную на торец статора. Рихтовку и привязку лобовых частей к бандажным кольцам следует производить сразу после укладки, пока катушка находится в горячем состоянии и ее изоляция обладает достаточной эластичностью.

Наиболее сложным является укладка последних 12 катушек, охватывающих шаг обмотки. Правые стороны этих катушек должны попасть в пазы, верхние части которых временно заняты левыми сторонами первых 12 катушек. Поэтому перед укладкой катушек надо приподнять из пазов стороны первых катушек. Поскольку они к этому времени успевают остыть, приходится их снова нагревать, чтобы не повредить изоляцию. Нагревание катушек на статоре производится пропусканием через них постоянного тока от низковольтного источника. Поднятые левые стороны



катушек в крупных машинах привязывают киперной лентой к доске, которую кладут по хорде статора. Затем нагревают и укладывают в пазы нижние стороны последних катушек теми же методами, которые были описаны выше. Когда последние катушки уложены, надо опустить левые стороны первых катушек на дно паза. Для этого их снова приходится нагревать пропусканием тока.

После укладки всех катушек в пазы кладут прокладки под клинья. Затем забивают в пазы деревянные или текстолитовые клинья *4* и производят испытание обмотки на междувитковые замыкания и на пробой изоляции на корпус.

## СОЕДИНЕНИЯ В ОБМОТКАХ СТАТОРА

После укладки катушек в пазы статора приступают к соединениям выводных концов катушек. У статора с жесткой обмоткой из катушек выходят два вывода, так как у каждой катушки имеется начало и конец. Поэтому сначала надо произвести соединения катушек в катушечные группы. Раньше скрепляли концы катушек, надевая на них хомутики из фольги или жести и пропаивая оловянисто-свинцовыми припоями. Теперь почти всюду соединение выполняется путем паяния твердыми припоями с нагревом места паяния щипцами с угольными электродами. При этом отпадает необходимость и в соединительных хомутиках. Катушки соединяются в катушечные группы чаще всего последовательно, хотя встречаются схемы с параллельным соединением катушек.

Самой ответственной операцией является соединение катушечных групп в фазах. Эта операция требует от обмотчика теоретических знаний, умения разбираться в схемах и практических навыков. В условиях серийного производства, когда изо дня в день идут одни и те же машины, порядок соединения запоминается наизусть и выполняется почти механически. Но часто в цех попадают новые или ремонтируемые машины индивидуального исполнения, причем часто без подробных чертежей и схем. Вот в таких случаях обмотчик должен использовать весь свой опыт и знания.

Для выполнения соединений обмотчик пользуется схемами, а при отсутствии на данную машину схемы он должен ее составить раньше, чем приступить к соединениям катушечных групп. До сих пор при изучении обмоток мы пользовались развернутыми схемами. Но для практического пользования они неудобны. Во-первых, ее трудно начертить для машины с большим числом пазов. Во-вторых, если начертить на развернутой схеме все катушки и их соединения, то в ней очень легко запутаться. Поэтому для практических целей пользуются упрощенными схемами.

Если составлять развернутые схемы на все типы машин, то их получится огромное количество. Действительно, развернутые схемы будут разными при разных числах пазов, разных шагах, разных числах пазов на полюс и фазу. А между тем при соединении катушечных групп в фазах обмотчик имеет дело только с началами и концами этих групп. Для выполнения соединений совершенно не обязательно знать, каким шагом были намотаны катушки и сколько катушек заключено в катушечной группе. Основным элементом при выполнении соединений является катушечная группа, а точнее ее начало и конец. На основании этого можно прежде всего упростить изображение катушечной группы, заменив ее двумя квадратиками (рис. 69, *а*), из которых один будет обозначать начало, а другой — конец катушечной группы. Соединительная линия между ними и будет условно изображать

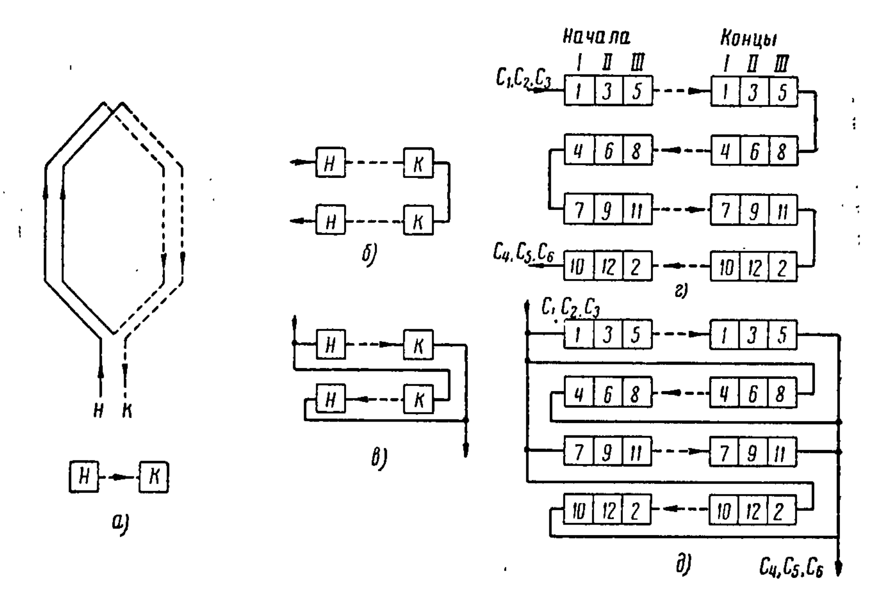



Рис. 69. Упрощенные схемы обмотки статора

электрическую цепь катушечной группы с обозначением стрелкой направления тока. На рис. 69, *б* показано последовательное, а на рис. 69, *в* параллельное соединение катушечных групп. При этом соблюдено правило параллельного соединения, которое было показано на рис. 57. Приняв такие условные обозначения, можно перейти к схеме обмотки статора машины трехфазного тока. При укладке катушечных групп они размещаются в пазах подряд. При соединении же их надо отделить катушечные группы *I*, *II* и *III* фаз. Если мы посмотрим на любую развернутую схему обмотки до выполнения соединений, то увидим, что выводы из



катушечных групп правильно чередуются: начало, конец, начало, конец и т. д. Если какую-нибудь произвольно выбранную катушку мы отнесем к *I* фазе, то следующая катушечная группа этой фазы будет иметь номер *4*, следующая за ней — номер *7* и т. д. Это объясняется тем, что промежуточные номера будут принадлежать другим фазам. Таким образом, одну фазу можно изобравить двумя столбиками из квадратиков с номерами *1*, *4*, *7*, *10* и т. д. Теперь надо найти номер первой катушки *II* фазы. Он должен быть сдвинут на 120 электрических градусов от начала *I* фазы. Это соответствует расстоянию, занятому двумя катушечными группами, поэтому разность номеров катушечных групп между началами фаз будет всегда 2. В любой схеме вторая катушечная группа представляет собой конец *III* фазы. Чтобы изобразить трехфазную обмотку, расположим три столбика квадратиков, обозначающих начала фаз рядом, хотя они между собой и не соединяются электрически. Аналогично расположим столбики концов фаз. Такая схема будет универсальной для всякой трехфазной обмотки независимо от шага обмотки и числа пазов на полюс и фазу. Число полюсов обозначается числом квадратиков в вертикальном столбике.

Теперь осталось обозначить способы соединения катушечных групп в фазах. На рис. 69, *г* показано последовательное соединение групп, на рис. 69, *д* — параллельное соединение в четырехполюсной обмотке.

На основании таких схем очень просто можно выполнить соединения катушечных групп. Обмотчик отгибает выводы *I* фазы, идущие от катушечных групп *1*, *4*, *7*, *10* и т. д. Начало первой катушечной группы пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено $C_1$. Затем согласно правилу соединений в двухслойных обмотках будут соединены: конец первой катушечной группы с концом четвертой; начало четвертой группы с началом седьмой; конец седьмой группы с концом десятой. Если машина четырехполюсная, то начало десятой катушки пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено $C_4$ (конец *I* фазы). Соединения во *II* и в *III* фазах будут выполняться совершенно аналогично.

Теперь посмотрим, как произвести параллельное соединение катушечных групп в этой же обмотке (рис. 69, *д*). Для этого в *I* фазе надо присоединить к одному проводу начала первой и седьмой катушечных групп и концы четвертой и десятой катушечных групп. К второму проводу присоединяются концы первой и седьмой катушечных групп и начала четвертой и десятой групп. Как видно по направлению токов в катушечных группах, полярность катушек при параллельном соединении сохраняется той же, что была при последовательном соединении.

По аналогии можно составить схемы для других обмоток.

Соединение фаз в звезду или в треугольник было описано в главе VIII.

*Глава X*

# ИСПЫТАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

## ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТКИ

Каждая обмотка перед выпуском из цеха должна быть испытана. Испытание состоит в измерении сопротивления обмотки, сопротивления изоляции, проверке обмотки на междувитковые замыкания и испытании электрической прочности изоляции.

Измерение сопротивления производится после намотки катушек на станках. Целью этого измерения является проверка правильности выбора диаметра провода и числа витков.

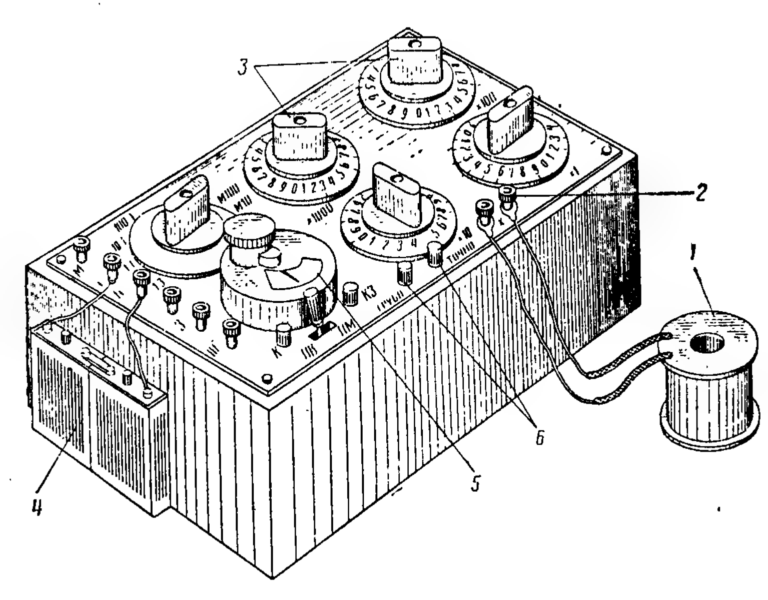



Рис. 70. Мост Уитстона

Измерение сопротивления катушки или катушечной группы производится на мосте Уитстона. Процесс измерения показан на рис. 70; он заключается в следующем. Присоединяют выводные провода катушки *1* к зажимам *2* моста, затем поворотом рукояток переключателей сопротивлений *3* подбирают сопротивление, близкое к расчетному сопротивлению катушки. После этого нажимают одну из кнопок *6* с надписью «грубо» и стрелка прибора отклоняется вправо или влево от среднего положения. На циферблате *5* имеются цифры с нулем посередине шкалы. Если стрелка отклоняется вправо от среднего положения, то надо увеличить сопротивление и наоборот. После нескольких поворотов рукояток



стрелка при нажатии кнопки *6* с надписью «точно» установится на нуль. Тогда по цифрам на дисках переключателей определяют сопротивление катушки и сравнивают его с сопротивлением, указанным в обмоточной записке. Питание схемы моста осуществляется от элементов *4*.

Сопротивления всех катушек не могут быть совершенно одинаковыми, так как обмоточные провода имеют отклонения размеров. Кроме того, разные катушки могут быть намотаны с различным натяжением провода и длина их будет несколько отличаться. Поэтому при измерении сопротивления катушек результаты считаются удовлетворительными, если сопротивления отдельных катушек отличаются не более чем на 5% от величины, указанной в обмоточной записке. После обмотки статора производится измерение сопротивления каждой фазы. Они также не должны отличаться от расчетной величины более чем на 5%.

## ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Сопротивление изоляции по отношению к корпусу не может быть измерено мостом, потому что оно достигает очень больших величин. Если сопротивление обмоток измеряется в омах и в десятках ом, то сопротивление изоляции измеряется в килоомах или в мегомах; один килоом равен 1000 *ом*, а один мегом равен 1 млн. *ом*.

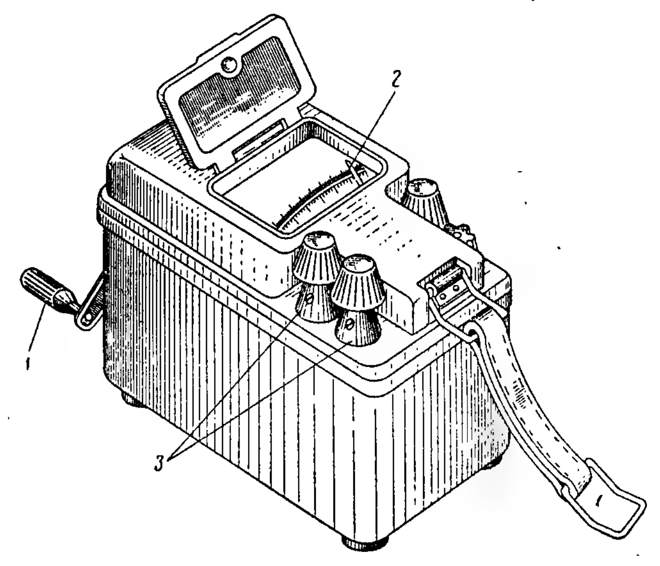



Рис. 71. Мегомметр

Для измерения сопротивления изоляции применяют прибор, называемый мегомметром (рис. 71). Внутри прибора находится генератор, который приводится во вращение ручкой *1*, располо-

женной сбоку прибора. Провода от двух зажимов прибора *3* подводятся: один к испытываемой обмотке, а другой к корпусу или к валу машины. Затем начинают вращать ручку со скоростью около 150 об/мин и стрелка *2* показывает сопротивление изоляции в мегомах или в килоомах. Хорошие результаты дает следующий способ измерения. Подключают зажимы мегомметра к испытуемой обмотке и к корпусу машины. Затем вращают ручку мегомметра в течение 1 мин. При этом измеряют сопротивление изоляции через 15 и 60 сек. Отношение $\frac{R_{60}}{R_{15}}$ характеризует степень влажности изоляции. Если это отношение равно 1,3—1,5, можно считать, что изоляция просушена хорошо.

По ГОСТ 183—55 сопротивление изоляции обмоток электрической машины ($z$) в мегомах относительно ее корпуса и сопротивление изоляции между обмотками должно быть не ниже значения, получаемого по формуле

$$z = \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}},$$

где $U$ — номинальное напряжение обмотки в *в*;

$P$ — номинальная мощность в *ква*.

Перед началом измерений проверяют исправность мегомметра следующим образом. Замыкают выводные зажимы куском проволоки и медленно вращают ручку. При этом стрелка должна стоять на нуле.

Сопротивление изоляции изменяется в зависимости от температуры и влажности обмотки. Сопротивление обычно измеряется несколько раз в процессе сушки и пропитки обмоток и в готовой машине при сдаче ее на склад.

По величине сопротивления изоляции в процессе сушки судят о том, достаточно ли просушена обмотка. Если сопротивление изоляции с течением времени продолжает изменяться, это означает, что сушка ее не закончена. Хорошо высушенная обмотка имеет неизменное при данной температуре сопротивление изоляции.

### ПРОВЕРКА ОБМОТКИ НА МЕЖДУВИТКОВЫЕ ЗАМЫКАНИЯ

Измерение сопротивления обмотки не может обнаружить одного дефекта, который часто наблюдается в обмотках, а именно замыкания между витками. Если в обмотке статора замкнуто небольшое число витков, это мало отразится на сопротивлении отдельных фаз и разница их сопротивлений не будет превышать установленных по нормам 5%. Между тем короткозамкнутые витки при включении машины под напряжение будут являться как бы вторичной обмоткой трансформатора и в них потечет очень большой ток, который вызовет сильный местный нагрев обмотки



и сердечника статора. При этом будет нарушаться изоляция соседних витков, и они также будут замыкаться между собой. Поэтому в обмотках переменного тока замыкание даже небольшого числа витков может привести к полному выходу обмотки из строя.

Для обнаружения междувитковых замыканий в малых двигателях используют электромагнитный метод. На рис. 72 изображен аппарат системы Гашева и Ривлина. Он состоит из вала *1*, рукоятки *2* для поворота сердечника главного электромагнита с обмоткой *3*, контрольного электромагнита с обмоткой *4*, медного диска между электромагнитами *5*, кронштейна *6* и притягивающих электромагнитов *7*.

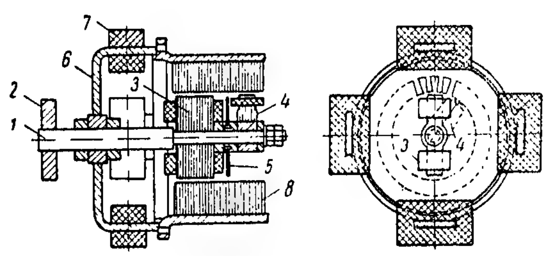



Рис. 72. Аппарат для проверки обмоток статора

Принцип работы аппарата заключается в следующем. Аппарат устанавливается в расточке статора испытуемого двигателя *8*. Катушка электромагнита *3* питается переменным током повышенной частоты, создающим магнитный поток в статоре. Все приспособление поворачивается с помощью ручки *2*. Взаимное положение электромагнитов *3* и *4* таково, что при нахождении электромагнита *3* против центра любой из катушек, уложенных в статор, электромагнит *4* охватывает одну из сторон катушки. При прохождении электромагнита *3* против катушки, имеющей витковое замыкание, в ней протекает ток, который вызывает появление электродвижущей силы в обмотке электромагнита *4*, включенной на телефон. При наличии короткого замыкания между витками катушки звук в телефоне резко усилится. Аппарат кронштейном *6* центрируется на торце статора и притягивается к нему магнитным потоком, создающимся при пропускании тока через катушку притягивающих электромагнитов *7*. Для проверки всей обмотки, уложенной в статоре, достаточно сделать один оборот магнитной системы аппарата.

Для машин большей мощности аппарат получился бы слишком тяжелым. Поэтому пользуются переносным подковообразным магнитом, рис. 73, *а*, который передвигают по окружности статора. Обмотка электромагнита питается переменным током повышенной частоты. О наличии короткозамкнутых витков судят по звуку в телефоне (рис. 73, *б*) или дребезжанию стальной полос-

ки, прикладываемой к зубцам статора. Она будет сильно дребезжать на тех зубцах, которые охватывают паз с неисправной катушкой.

В двухслойной обмотке в каждом пазу лежат стороны двух катушек. Следовательно, дребезжание пластинки на зубцах, ограничивающих паз *5* (рис. 73, *в*), еще не определяет, какая катушка из двух является неисправной. Поэтому определив неисправность в одном пазу, продолжают обход окружности статора электромагнитом. Поскольку каждая катушка лежит в двух пазах, то пластинка при одной неисправной катушке будет сигна-

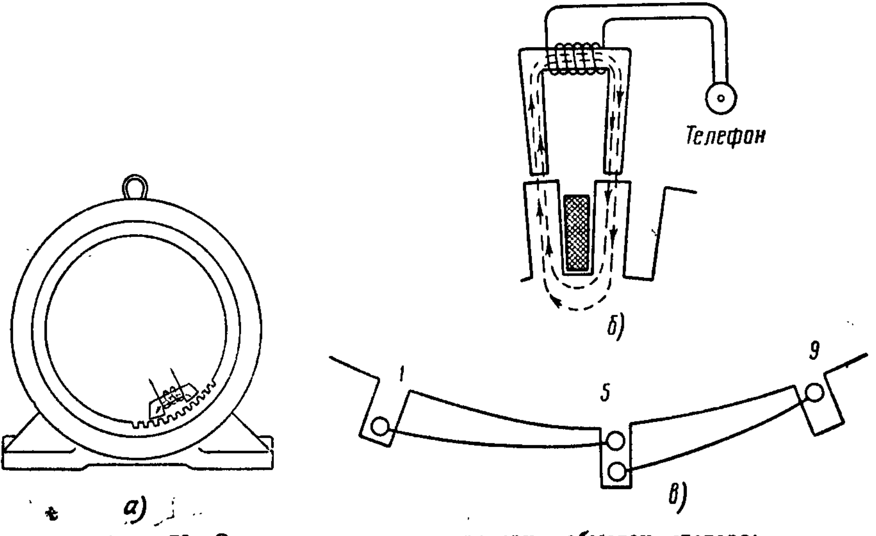



Рис. 73. Электромагнит для проверки обмоток статора:
*а* — установка электромагнита, *б* — проверка обмотки на телефон, *в* — нахождение неисправной катушки

лизировать об этом на двух пазах. Если вторым таким пазом окажется паз *9*, то неисправная катушка лежит в пазах *5* и *9*. Если же витковые замыкания были в другой катушке паза *5*, то пластинка будет дребезжать над пазами *5* и *1*. Эти пазы помечают мелом и статор возвращают в обмоточный цех для ремонта.

## ИСПЫТАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК АППАРАТАМИ ТИПА СМ

Значительное усовершенствование методов испытаний обмоток всех типов электрических машин внесло применение аппаратов типов СМ-1, СМ-2, разработанных во Всесоюзном электротехническом институте имени В. И. Ленина кандидатами технических наук М. В. Смирновым и В. Д. Мажугой.

Принцип действия этих аппаратов основан на сравнении полного сопротивления двух каких-либо частей обмоток, которые при



правильном выполнении должны быть совершенно одинаковы. Обе части обмотки присоединяются к аппарату. Электронная схема аппарата устроена таким образом, что в обе части обмотки поочередно посылаются короткие импульсы тока высокой частоты. Эти импульсы подходят к пластинам, стоящим вдоль пути электронов, летящих на экран лучевой трубки, и тем самым отклоняют их в сторону. Поэтому на экране видна не одна светящаяся точка, а светящаяся кривая линия, описываемая этой точкой. Если обе проверяемые части обмотки одинаковы, то и импульсы, приходящие на пластину, также одинаковы, и на экране видна только одна кривая. Если же в одной части обмотки есть какой-либо дефект, например витковые замыкания, неправильное число витков, неправильное присоединение концов обмотки и т. п., то импульсы, проходящие через эту часть обмотки, будут отличаться от импульсов, проходящих через другую обмотку, и отклонение электронов ими будет иным. В этом случае на экране лучевой трубки появятся две кривых. Каждому дефекту соответствует определенная форма кривой, что при известном опыте позволяет быстро определить характер неисправности. Применение аппаратов типа СМ позволило в несколько раз повысить пропускную способность испытательных станций.

Разница между аппаратами СМ-1 и СМ-2 заключается в том, что у аппарата СМ-2 меньше размеры экрана, поэтому вес и габариты его примерно в 1,5 раза меньше, чем у СМ-1. Это делает его более удобным для переноски. Однако в стационарных условиях лучше пользоваться аппаратом СМ-1, у которого изображение на экране хорошо видно на расстоянии 2—3 *м*, в то время как у СМ-2 хорошая видимость получается на расстоянии не больше 1 *м*.

На рис. 74, *а* изображен внешний вид аппарата СМ-1. Он включается в сеть переменного тока напряжением 120 *в* и допускает отклонения питающего напряжения в пределах от +5 до —20%. Включение производится при помощи шнура *11* с вилкой, выведенного с задней стенки футляра. После включения необходимо дать лампам прогреться в течение 1 мин. До присоединения к источнику питания зажим *9* на передней стороне футляра надо заземлить. В нижней части передней стенки расположены две пары гнезд для присоединения испытываемых обмоток. Пара гнезд *6* обозначена «импульсы», а пара гнезд *8* — «пластины явления». Над гнездами имеется три выключателя, которые в верхнем положении рукояток выключены, а в нижнем включены. Выключатель *4* управляет скоростью развертки луча по экрану *1*. Выключатель *5* включает анодное напряжение, а выключатель *7* включает синхронный двигатель. При производстве испытаний выключатели *5* и *7* должны быть во включенном положении (рукоятками вниз). Между экраном и выключателями расположены три ручки настройки. Ручкой *2* с надписью «импульсный контур» регулируется напряжение, подаваемое на ис-

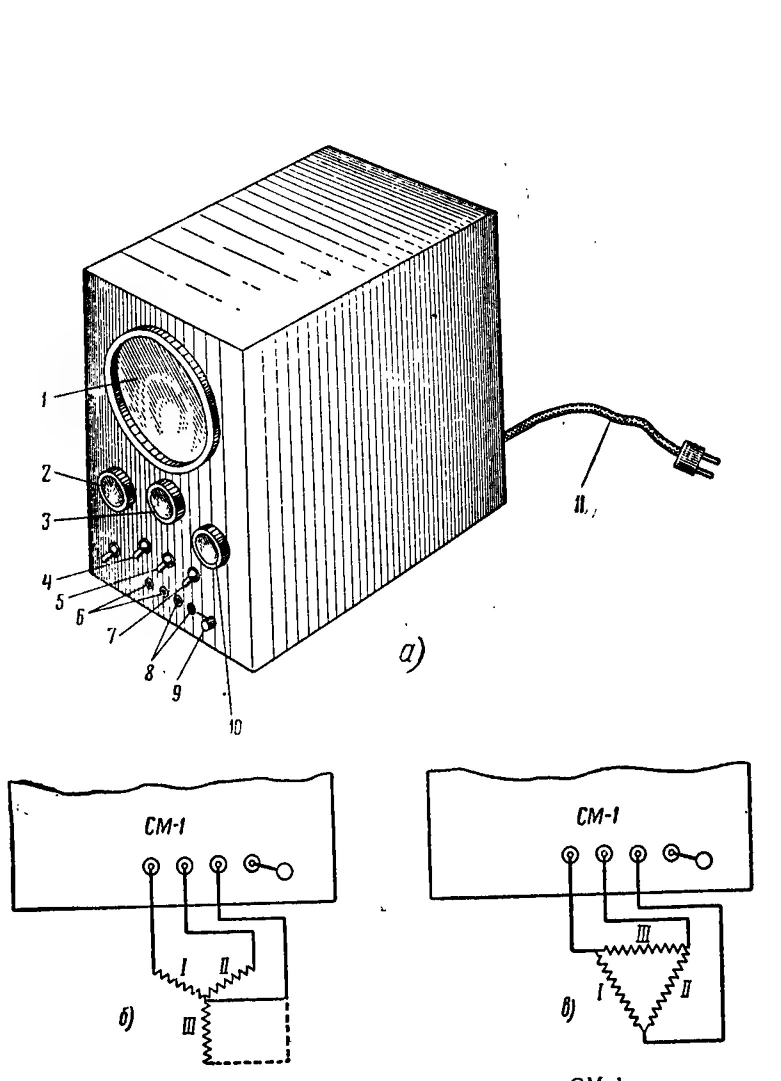



Рис. 74. Проверка обмоток аппаратом СМ-1:
*а* — внешний вид аппарата СМ-1, *б* — соединение в звезду, *в* — соединение в треугольник

пытываемых обмотки. Ручкой *3* с надписью «фокус» регулируется резкость луча на экране. Ручкой *10* с надписью «емкость симметрии» можно устранять естественную несимметрию испытываемых обмоток.

На рис. 74, *б* показана схема включения обмотки, соединенной в звезду. Начала двух фаз *I* и *II* подключены к гнездам *6*, а нулевая точка обмотки к одному из гнезд *8*. При отсутствии нулевой точки можно к гнезду *8* присоединить фазу *III*, которая будет служить проводом. Если в фазах *I* и *II* дефекты отсутствуют, то конец одной из них заменяют концом фазы *III* и проверяют вторую пару фаз.

На рис. 74, *в* показана схема включения обмотки, соединенной в треугольник. Во втором положении надо фазу *I* и *II* поменять местами с фазой *III*.

Для устранения дополнительной несимметрии надо присоединение обмоток к аппарату делать проводами одного сечения и одинаковой длины.

## ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

Все электрические машины подвергаются проверке на электрическую прочность изоляции по отношению к корпусу. Изоляция обмоток относительно корпуса и между фазами должна выдержать следующие напряжения частоты 50 *гц* в течение 1 мин.

Машины мощностью менее 1 *квт*, а также все машины на номинальное напряжение не свыше 36 *в* — 500 *в* плюс двукратное номинальное напряжение.

Машины мощностью от 1 до 3 *квт* на номинальное напряжение свыше 36 *в* — 1000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение.

Машины мощностью более 3 *квт*, за исключением перечисленных в следующих пунктах, при номинальном напряжении свыше 36 *в* — 1000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение, но не менее 1500 *в*.

Машины мощностью от 1000 *квт* и выше на номинальное напряжение до 3300 *в* — 1000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение.

Машины мощностью от 1000 *квт* и выше на номинальное напряжение свыше 3300 *в* до 6600 *в* вкл. — 2,5-кратное номинальное напряжение.

Машины мощностью от 1000 *квт* и выше на номинальное напряжение свыше 6600 *в* — 3000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение.

Изоляция обмоток после различных операций может получить повреждение, и прочность ее понижается. Так как всегда необходимо быть уверенным, что изоляция обмотки выдержит указанное выше напряжение, то ее в процессе производства испыты-

вают напряжением более высоким, ( испытательное напряжение готовой машины. Повышение напряжения для каждой промежуточной операции берется в пределах от 10 до 20%.

На рис. 75 показана схема установки для испытания электрической прочности изоляции. Она состоит из двух трансформаторов, каждый из которых имеет две обмотки, одетые на стальной сердечник. Обмотки низшего напряжения включены в сеть 220 *в*, а обмотки высшего напряжения имеют во много раз больше витков и могут давать напряжение 6000 *в* у одного трансформатора и до 44 тыс. *в* у второго трансформатора. Первый трансформатор служит для испытания низковольтных машин, а второй — для испытания высоковольтных машин и изоляционных материалов.

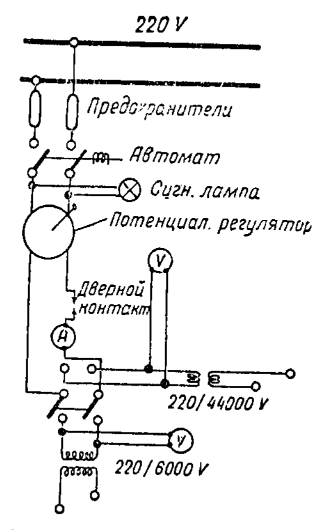



Рис. 75. Схема установки для испытания электрической прочности изоляции

Напряжение регулируется индукционным регулятором в цепи обмотки низшего напряжения и указывается вольтметром, установленным на щите. Кроме того, на щите имеются сигнальные лампы, которые зажигаются при включении трансформатора и напоминают о том, что надо соблюдать меры предосторожности. Обмотка высшего напряжения каждого трансформатора при помощи проводов в резиновых шлангах выведена на два контакта, которые укреплены на высоковольтных изоляторах.

При испытании электрической прочности изоляции один контакт присоединяется к корпусу машины, а другой — к испытуемой обмотке. Если изоляция выдерживает испытательное напряжение, стрелка вольтметра стоит на месте; если изоляция пробита, стрелка возвращается на нуль; место пробоя изоляции обнаруживается по дыму и искрению, которое появляется в месте пробоя. Причинами пробоя изоляции обычно являются или недоброкачественность изоляционного материала, или механические повреждения изоляции стружками, опилками или острыми углами металлических частей, а также неосторожное обращение с обмоткой при укладке в пазы и транспортировке деталей.

Камера испытательной установки снабжается дверным контактом, который разрывает цепь первичной обмотки при открывании двери и предотвращает опасность, угрожающую лицам, случайно входящим в камеру при включенном трансформаторе. Для безопасности работы обслуживающий персонал испытательной станции пользуется резиновыми ковриками, галошами и перчатками.



*Глава XI*

# СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

## ПРИМЕРЫ СОСТАВЛЕНИЯ СХЕМ

В практике ремонтных работ обмотчику часто приходится самостоятельно составлять схемы обмоток. Исходными данными являются число пазов статора $z$, число полюсов $2p$ и число параллельных ветвей обмотки $a$. Разберем построение схем на следующих примерах.

**Пример 1.** Составить схему однослойной концентрической обмотки по следующим данным:

$$z = 24; \quad 2p = 4; \quad a = 1.$$

Сначала определяем число катушечных групп $\kappa$. В концентрических обмотках оно в полтора раза больше числа полюсов. Значит

$$\kappa = \frac{4 \times 3}{2} = 6.$$

Таким образом, в каждой фазе будет по две катушечные группы. Теперь определим число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{z}{2p \times m} = \frac{24}{4 \times 3} = 2.$$

Следовательно, сторона каждой катушечной группы будет занимать два паза. Обмотка имеет четное число пар полюсов $p = 2$, поэтому ее можно выполнить с расположением лобовых частей в двух плоскостях без перекошенных катушек.

На клетчатой бумаге проведем 24 вертикальные линии (рис. 76), обозначающие пазы статора, и пронумеруем их. Первый и второй паз будут заняты левой стороной первой катушечной группы первой фазы. Затем оставляем четыре паза свободными для катушечных групп двух других фаз. Правая сторона этой катушечной группы будет лежать в пазах 7 и 8-м (рис. 76, *а*). Это будет катушечная группа с короткими лобовыми частями. Рядом с ней будет лежать вторая катушечная группа с короткими лобовыми частями, которая займет 9, 10, 15 и 16-й пазы, а затем третья катушечная группа, занимающая 17, 18, 23, 24-й пазы. В промежутках, оставленных внутри катушечных групп, симметрично расположатся катушечные группы с длинными лобовыми частями (рис. 76, *б*). Пронумеруем по порядку все катушечные группы от 1-й до 6-й (рис. 76, *в*).

К первой фазе принадлежат первая и четвертая катушечные группы, к второй фазе — вторая и пятая, к третьей — третья и шестая. Примем за начало первой фазы начало первой катушечной группы — 1-й паз. Соединим конец первой катушечной груп-

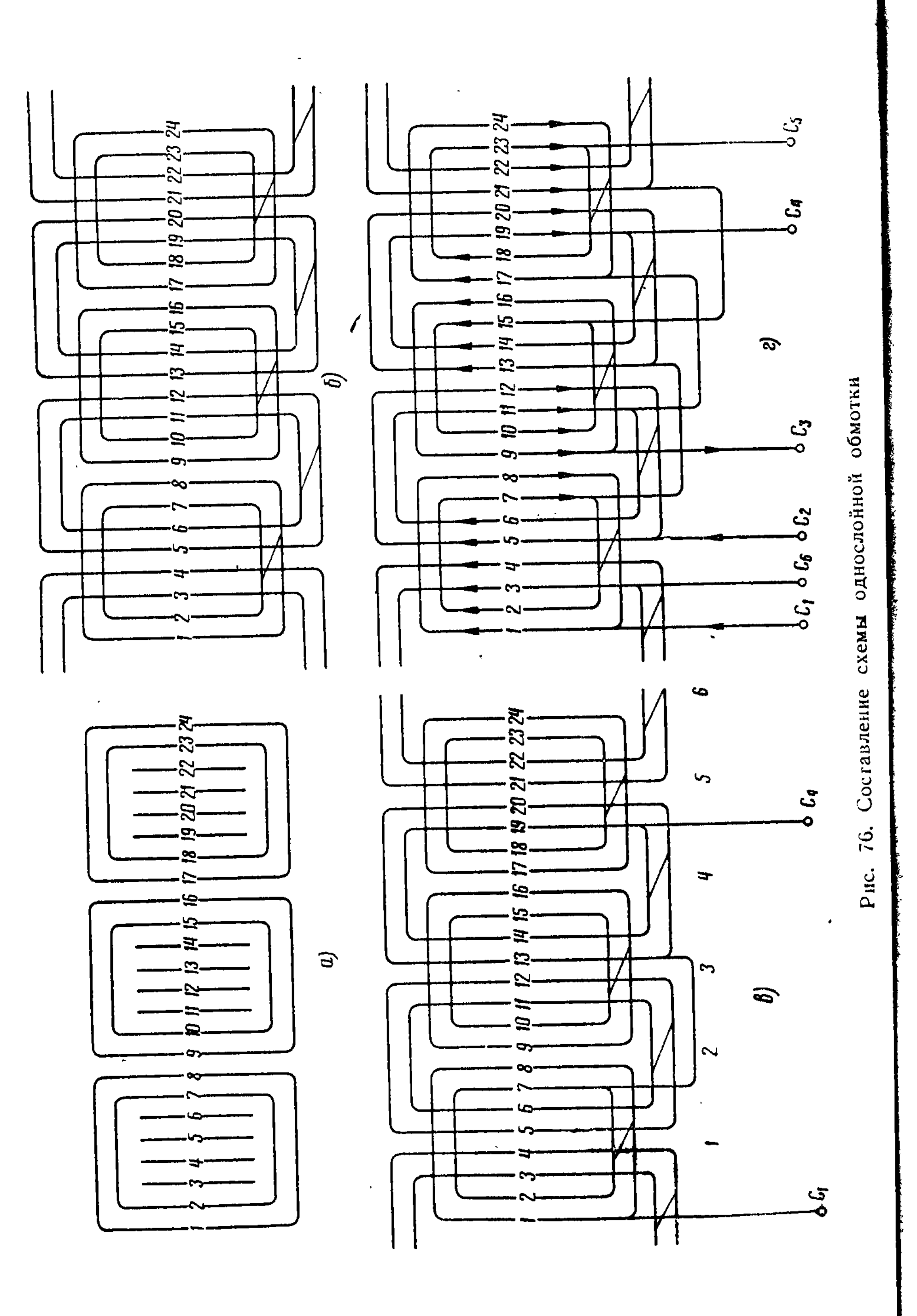


Рис. 76. Составление схемы однослойной обмотки

пы с началом четвертой (13-й паз). Конец четвертой катушечной группы является концом первой фазы (19-й паз). Таким образом, соединена схема первой фазы. Чтобы определить положение начала второй фазы, надо рассчитать угол между двумя пазами в электрических градусах. У данной обмотки в окружности статора будет $360 \times p = 360 \times 2 = 720$ электрических градусов. Следовательно, угол между пазами будет $720 : 24 = 30$ электрических градусов. Поэтому расстояние между началами фаз будет $120 : 30 = 4$ пазовых давления, а начала фаз будут расположены в следующих пазах: начало второй фазы в $1 + 4 = 5$-м пазу, а третьей фазы в $5 + 4 = 9$-м пазу. Теперь произведем соединение катушечных групп в двух других фазах, следя за тем, чтобы полярность обеих катушек каждой фазы была одинаковой. Для этого конец второй катушечной группы соединим с началом пятой, а конец третьей — с началом шестой.

Для проверки правильности схемы расставим на проводах стрелки, считая, что ток направлен в обмотку через начала первой и второй фаз, а из обмотки через начало третьей фазы. На схеме видим, что стрелки делят схему на четыре симметричные зоны соответственно числу полюсов; в каждой зоне лежит по 6 пазов, разделяющихся по 2 на каждую фазу. Шаг между концами фаз также равен *4*. Следовательно, обмотка выполнена правильно.

**Пример 2.** Составить схему двухслойной обмотки по следующим данным: $z = 18$, $2p = 2$, $a = 1$.

Сначала подсчитаем диаметральный шаг обмотки. Он будет:

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{18}{2} = 9.$$

Для улучшения электрических характеристик машины возьмем $y_z = 7$ с укорочением шага на 2 паза, что составит примерно одну пятую от диаметрального шага. На клетчатой бумаге проведем 36 вертикальных линий, которые будут представлять собой стороны катушек, лежащих по две в 18 пазах (рис. 77). В каждом пазу левую линию будем проводить сплошной и она будет изображать верхнюю сторону катушки, а правую — пунктиром и она будет изображать нижнюю сторону катушки. Начало первой фазы возьмем из верхней части 1-го паза. Теперь соединим этот провод согласно шагу обмотки по пазам с нижней стороной катушки в $1 + 7 = 8$-м пазу, так как в двухслойных обмотках одна сторона катушки лежит в верхней части паза, а другая в нижней.

Число пазов на полюс и фазу у этой обмотки будет:

$$q = \frac{z}{2p \times m} = \frac{18}{2 \times 3} = 3.$$

Таким образом, в катушечной группе будут 3 катушки. Поэтому из нижней части 8-го паза переходим в верхнюю часть 2-го паза, а затем в нижнюю часть 9-го паза. Третья катушка соединится с верхней стороной 3-го паза и затем с нижней стороной 10-го паза. Это будет конец первой катушечной группы. Затем соединяем вторую катушечную группу обмотки, начиная с верхней части 4-го паза и т. д.

Теперь надо определить, где будет начало второй фазы. В данной обмотке число электрических градусов между соседними пазами будет:

$$\frac{360}{18} = 20 \text{ электрических градусов.}$$

Расстояние же между началами фаз:

$$\frac{120}{20} = 6 \text{ пазовых делений.}$$

Начало второй фазы должно выйти из верхней части 7-го паза, а начало третьей фазы — из верхней части 13-го паза. Теперь осталось соединить катушечные группы в фазах, которые должны быть соединены последовательно, так как $a = 1$. К первой фазе принадлежат первая и четвертая катушечные группы, ко второй — третья и шестая, а к третьей — вторая и

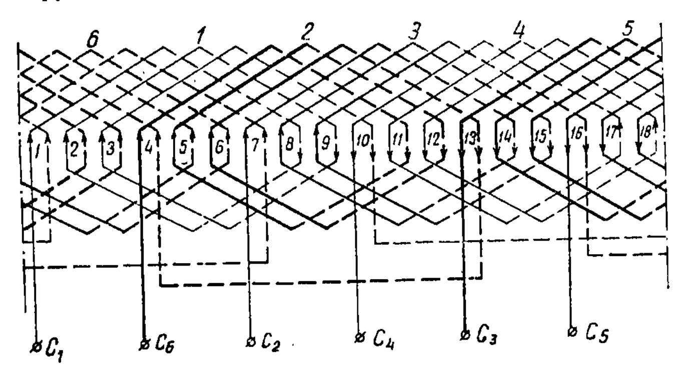



Рис. 77. Схема двухслойной обмотки

пятая. При соедиении катушечных групп руководствуемся правилом для двухслойных обмоток, т. е. в первой фазе конец первой катушечной группы соединяем с концом четвертой, во второй фазе — конец третьей катушечной группы с концом шестой и т. д.

Для проверки правильности схемы поставим стрелки, указывающие направление тока в проводах. Направления токов возьмем такие же, как в схеме (рис. 76).

Когда расставим все стрелки, то увидим, что направлением стрелок обмотка делится на две зоны, что соответствует числу полюсов. Но в 8, 9, 17 и 18-м пазах направление токов в проводах паза противоположное. Это объясняется тем, что обмотка имеет укороченный шаг. Обычно число пазов, в которых направление токов встречное, в каждой зоне равно числу, выражающему укорочение шага. Действительно, в данной обмотке укорочение шага равно $9 - 7 = 2$, а расположение стрелок на проводах показывает, что обмотка выполнена правильно.

Второй проверкой может служить расположение концов фаз. Мы видим на схеме, что концы фаз так же, как и начала, удалены друг от друга на 6 пазовых делений, т. е. на 120 электрических градусов.

Для лучшего усвоения предлагается начертить схемы двухслойных обмоток по следующим данным:

1) $z=12$; $2p=4$; $y_z=3$;
2) $z=18$; $2p=2$; $y_z=8$;
3) $z=24$; $2p=2$; $y_z=10$;
4) $z=36$; $2p=6$; $y_z=5$.



## СНЯТИЕ СХЕМ С ОБМОТАННЫХ СТАТОРОВ И РОТОРОВ

В некоторых случаях бывает необходимо снять схему с обмотанного статора или ротора. Если обмотка однослойная концентрическая, то по виду лобовых частей легко можно определить число катушечных групп, а также число полюсов. По виду обмотки можно определить число пазов на полюс и фазу. При этом надо проследить, все ли катушечные группы занимают одинаковое число пазов. Встречаются такие концентрические обмотки, у которых число пазов, занимаемых отдельными катушечными группами, не одинаково. Это является признаком того, что данная обмотка имеет дробное число пазов на полюс и фазу. Для определения числа параллельных ветвей в обмотке надо рассмотреть соединения между катушечными группами. Если они идут непрерывно по всей окружности статора, это служит признаком того, что обмотка имеет несколько параллельных ветвей. Сняв ленту, которой скреплены соединения между катушечными группами, по схеме обмотки можно определить число параллельных ветвей.

Сложнее обстоит дело с двухслойными обмотками. Прежде всего надо проследить расположение прокладок между лобовыми частями. Число катушек между прокладками показывает, чему равно число пазов на полюс и фазу. Зная общее число пазов, можно подсчитать число полюсов. Теперь остается узнать шаг обмотки. Для этого необходимо проследить по лобовым частям, из какого паза в какой вложена каждая катушка.

Таким образом, не разматывая статора, можно восстановить полную схему обмотки. Число параллельных ветвей двухслойной обмотки также определяется по соединениям между катушечными группами.

# *Глава XII*

# СХЕМЫ РУЧНЫХ ОБМОТОК ЯКОРЯ

## ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ОБМОТКИ

Обмотка якоря состоит из секций, содержащих несколько витков. Слово «секция» имеет два значения. Секцией называется несколько проводов, присоединенных к двум коллекторным пластинам. На заводах секцией часто называют катушку, состоящую из секций, изолированных вместе и вложенных в два паза якоря.

В дальнейшем будет принята терминология согласно ГОСТ 2108—43, по которой секцией называется элемент обмотки, при-

соединенный к двум коллекторным пластинам. Комплект секций, изолированных вместе и вложенных в два паза якоря, будем называть якорной катушкой. В зависимости от числа выводных концов катушки можно определить, из скольких элементов она состоит. Число выводных концов следует считать с одной стороны катушки. Иногда секции обмотки называют также секционными сторонами. Число секционных сторон определяет соотношение между числом пазов и числом коллекторных пластин. Например, если катушка состоит из двух элементарных секций и имеет с каждой стороны два вывода, то общее число выводов будет в два раза больше, чем число пазов. К каждой коллекторной пластине присоединяется два провода; один от конца секции, другой от начала следующей секции. Следовательно, чтобы в коллекторе поместились все выводы катушки, необходимо, чтобы число коллекторных пластин было в два раза больше числа пазов.

Из сказанного можно вывести общее правило: *число коллекторных пластин равно числу пазов якоря, умноженному на число секционных сторон.*

В некоторых обмотках для уменьшения толщины провода один провод разбивают на два параллельных. В этом случае они присоединяются к коллекторным пластинам попарно и к каждой коллекторной пластине припаиваются не два, а четыре провода. Тогда число коллекторных пластин останется прежним. Поэтому секционными сторонами или элементарными секциями называются только такие провода, которые присоединяются к разным коллекторным пластинам.

Число проводов в сечении катушки равно числу ее секционных сторон, умноженному на число витков в секции, а число проводов двухслойной обмотки в пазу равно удвоенному произведению числа секционных сторон на число витков катушки. Это объясняется тем, что в каждом пазу лежат стороны двух катушек: одна на дне паза, а другая в верхней части паза.

## ШАГИ ОБМОТКИ

*Шаг обмотки по пазам* обозначает разность между номерами пазов, в которые вкладывается нижняя и верхняя стороны катушки. Как и в обмотках переменного тока, шаг обмотки по пазам определяется делением общего числа пазов по окружности якоря на число полюсов машины:

$$y_z = \frac{z}{2p},$$

где $z$ — число пазов якоря;
$2p$ — число полюсов машины.

Если число пазов не делится без остатка на число полюсов, берут ближайшее целое число. Например, число пазов якоря



$z = 17$, а число полюсов $2p = 2$, тогда шаг по пазам будет:

$$y_z = \frac{17}{2} = 8{,}5; \text{ берем } y_z, \text{ равный } 8.$$

Если нижняя сторона катушки вложена в 1-й паз, то верхняя сторона катушки должна быть вложена в $1 + 8 = 9$-й паз.

*Шаг обмотки по коллектору* обозначает разность между номерами коллекторных пластин, в которые вкладывают начало и конец катушки.

Если начало катушки присоединено к первой пластине, а конец ее — к второй пластине, то это обозначает, что шаг по коллектору равен 1. Шаг по коллектору обозначают $y$ со значком $к$. В данном случае $y_к = 1$. На чертеже это будет обозначено так: шаг по коллектору 1—2, т. е. из первой коллекторной пластины во вторую.

Ручные обмотки применяются для машин постоянного тока малой мощности, имеющих два полюса. У этих обмоток шаг по коллектору всегда бывает 1—2.

Обмотки якоря машин малой мощности имеют большое число проводов. При напряжении 220 *в* число проводов в пазу доходит до 300 и более. Поэтому очень большое значение имеет толщина изоляции провода. Наименьшую толщину изоляции имеет провод марки ПЭЛ (см. табл. 3). Однако прочность эмалевой пленки недостаточна и провод марки ПЭЛ можно применять при диаметре провода до 0,5 *мм*. Для обмоток с бо́льшим диаметром провода следует применять провод марки ПЭВ-2. Этот провод заменил применявшийся ранее провод марки ПЭЛШО, что дало возможность увеличить коэффициент заполнения паза и снизить стоимость обмотки за счет уменьшения цены провода.

## РУЧНЫЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Якоря машин постоянного тока мощностью до 1 *квт* обычно имеют пазы полузакрытой формы, и такие машины чаще всего строятся двухполюсными. Как известно, из обмоток машин переменного тока в такие пазы могут быть вложены всыпные обмотки, состоящие из намотанных на станке, но не изолированных катушек, которые вставляют через прорезь паза по одному проводу. Но в двухполюсных машинах с катушечными обмотками лобовые части получаются очень длинными, так как они должны охватывать половину якоря. Поэтому в таких машинах предпочитают не наматывать заранее катушки обмотки, а мотать обмотку проводом непосредственно в пазы якоря. Таким образом, сам якорь как бы является намоточным шаблоном. Тогда лобовые части пойдут из паза в паз прямо по торцу якоря и будут иметь значительно меньшую длину. Это позволяет уменьшить размеры всей машины и увеличить коэффициент полезного действия, так

как потери в обмотке пропорциональны ее сопротивлению, которое в свою очередь пропорционально длине обмотки.

В двухполюсной машине каждый провод лобовой части по пути из одного паза в противоположный должен обогнуть вал, а первые провода будут вплотную прилегать к торцу якоря. Если бы торец якоря и вал не были изолированы, то при протирании изоляции провода он мог бы замкнуться на корпус. Во избежание этого торец якоря и вал изолируют.

На рис. 78 показан якорь машины с ручной двухполюсной обмоткой. Торец якоря изолирован путем надевания на вал с каждой стороны якоря по одному листу, выштампованному из электрокартона или фибры. Чтобы избежать отгибания зубцов, обычно лист изоляционного материала приклеивается к торцу якоря. Участок вала, который огибается проводами лобовых частей, изолируют путем обматывания лентой или надеванием на него изоляционной трубочки. Таким образом, лобовые части получаются надежно изолированными от корпуса.

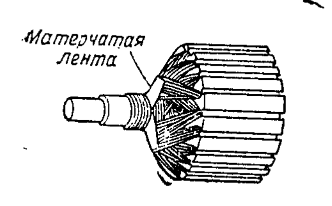


Рис. 78. Якорь с ручной обмоткой

До начала намотки надо изолировать пазы якоря. В машинах напряжением до 220 *в* изоляция паза состоит из полоски электрокартона, длина которой берется равной длине якоря вместе с изоляционными торцовыми листами. В крупных машинах в каждый паз вкладывают изоляционные гильзы. В малых машинах при диаметре якоря до 100 *мм* весь якорь изолируют одной непрерывной полосой электрокартона, которая закрывает и коронки зубцов.

Такой способ изолировки более выгоден, так как исключает возможность попадания проводов между изоляцией паза и зубцом и не вызывает увеличенного расхода электрокартона, так как коронка зубца узкая и ширина ее не превышает величины, на которую должна бы быть выпущена гильза из каждого паза. После изолировки пазов приступают к обмотке.

При ручной намотке малых якорей их кладут концами вала на деревянную стойку или держат якорь в руке, а другой рукой вкладывают провод в пазы. Катушку с проводом устанавливают возле обмотчика на вращающейся деревянной подставке. По мере заполнения пазов проводами необходимо обмотку в пазу осаживать фибровым клином, который натирают парафином. Намотку следует вести с натяжением провода и избегать перекрещивания проводов в пазах. При недостаточном натяжении провода лобовые части обмотки не уложатся в отведенное для них место на торцах якоря. Во время намотки необходимо следить за целостью изоляции провода во избежание витковых замыканий в обмотке, а также за тем, чтобы изоляционные гильзы не сдвигались с места, так как это поведет к замыканию обмотки на корпус.



## СХЕМЫ РУЧНЫХ ОБМОТОК

Схемы ручных обмоток имеют некоторые особенности по сравнению со схемами катушечных обмоток. В ручных обмотках первые катушки кладутся обеими сторонами на дно паза. Обмотка якоря обычно производится до насадки коллектора и для присоединения к коллектору в обмотке остаются выводные петли, которые выпускают из каждого паза по числу секционных сторон.

Рассмотрим следующие примеры схем ручных обмоток.

На рис. 79 дана схема обмотки якоря машины постоянного тока со следующими данными:

| | | |
|---|---|---|
| Число пазов | 10 | |
| Число секционных сторон | 3 | |
| Число витков в секции | 37 | |
| Шаг по пазам | 4 | (1—5) |
| Шаг по коллектору | 1 | (1—2) |
| Число коллекторных пластин | 30 | |
| Число проводов в пазу | 222 | |

После изолировки пазов приступают к обмотке якоря. Начало провода обматывают вокруг вала, чтобы он не сдвинулся при намотке. Обмотку ведут одним проводом в следующем порядке. Сначала наматывают 37 витков первой секции из 1-го паза в 5-й. Затем из 1-го паза выпускают первую петлю длиной около 40 *мм* и в те же пазы наматывают вторую секцию. После намотки второй секции снова выпускают петлю, которая делается длинней первой на 10—15 *мм*, для того, чтобы их можно было различить при соединении обмотки с коллектором, и наматывают третью секцию. После намотки третьей секции выпускают петлю длинней второй на 10—15 *мм* и переводят провод, не отрывая его от бухты, во второй паз. Теперь намотка будет производиться из 2-го паза в 6-й. Наматывают также 3 секции по 37 витков и после намотки каждой секции выпускают петли разной длины.

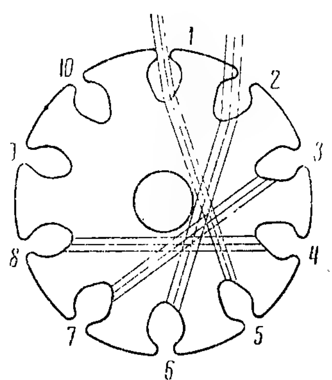


Рис. 79. Схема ручной обмотки якоря

Аналогичным образом обматывают 3—7 и 4—8-й пазы. При этом во всех пазах будет заполнена только половина их площади, так как пока мы мотаем только нижний слой обмотки. Следующие секции должны наматываться из 5-го паза в 9-й, но половина 5-го паза уже занята секциями первой катушки. Следовательно, когда будет закончена намотка секций из 5-го паза в 9-й, то 5-й паз будет заполнен целиком.

Затем намотку производят из 6-го паза в 10-й, при этом пол-

ностью заполняют 6-й паз, и из 7-го в 1-й, причем оба эти паза заполняются полностью и провода обмотки будут обеими сторонами лежать в верхнем слое. Последними будут заполнены 10 и 4-й пазы. Из последней секции 10-го паза выйдет конец обмотки, который следует соединить с началом обмотки, выходящим из 1-го паза. Таким образом, вся обмотка якоря намотана одним непрерывным проводом. Из каждого паза выходит по три петли разной длины. Каждая петля является концом одной секции и началом следующей. Каждую петлю надо присоединить к коллекторной пластине, зачистив изоляцию провода и отрезав лишнюю длину петли.

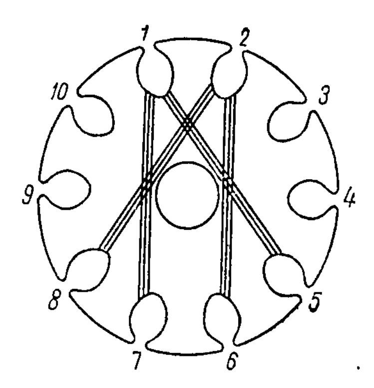



Рис. 80. Схема обмотки якоря «в елочку»

Чтобы секции в обмотке не перекрещивались, надо при соединении петель к коллекторным пластинам брать их в определенном порядке: короткая, средняя, длинная из 1-го паза, затем короткая, средняя и длинная из 2-го паза и т. д.

В данной схеме обмотки есть один недостаток, заключающийся в том, что на торце якоря лобовые части будут укладываться несимметрично. Лобовые части первых катушек будут плотно прилегать к торцу якоря, а лобовые части последних катушек, лежащие в верхнем слое обмотки, будут выпучиваться. В малых быстроходных машинах это создает несбалансированность якоря, и при вращении он будет вибрировать. Сбалансировать якорь дополнительными грузами трудно, так как на маленьком якоре бывает мало места для установки балансировочных грузов.

Чтобы избежать этого недостатка, применяют специальные схемы намотки, при которых лобовые части располагаются более симметрично. К таким схемам относятся схемы обмотки якоря «в елочку» и двуххордовой обмотки.

На рис. 80 дана схема обмотки якоря в елочку со следующими данными:

| | |
|---|---|
| Число пазов | 10 |
| Число сторон секции | 1 |
| Число витков в секции | 10 |
| Шаг по пазам | 4 |
| Шаг по коллектору | 1 |
| Число коллекторных пластин | 10 |
| Число проводников в пазу | 20 |

Обмотку якоря начинают с 1-го паза. В этой обмотке каждая катушка состоит из одной секции. Однако первую секцию не наматывают целиком из 1-го паза в 5-й, а разбивают на две



части и наматывают ее равными шагами: пять витков из 1-го паза в 5-й и пять витков из 1-го паза в 7-й. Таким образом после намотки первой секции 1-й паз заполнен наполовину, а 5-й и 7-й — на одну четверть. Затем переходят во 2-й паз и из него мотают пять витков в 6-й и пять витков в 8-й. Таким же образом намотка продолжается дальше. Обмотку в елочку уже нельзя производить одним непрерывным проводом, так как катушки наматываются не подряд. Поэтому в процессе намотки они отрезаются от бухты, а на выводные концы надеваются бумажные ярлычки с обозначениями 1 н, 1 к, 2 н, 2 к и т. д., где цифры обозначают номера секций, буква н — начало, а буква к — конец секции. По окончании обмотки якоря надо произвести соединение концов, причем надо соединять выводы не подряд, а в порядке номеров, т. е. согласно следующим данным:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 к | соединяется с | 2 н | и присоединяется | к | пластине | | 1 |
| 2 к | » | 3 н | » | » | » | » | 2 |
| 3 к | » | 4 н | » | » | » | » | 3 |
| 4 к | » | 5 н | » | » | » | » | 4 |
| 5 к | » | 6 н | » | » | » | » | 5 |
| 6 к | » | 7 н | » | » | » | » | 6 |
| 7 к | » | 8 н | » | » | » | » | 7 |
| 8 к | » | 9 н | » | » | » | » | 8 |
| 9 к | » | 10 н | » | » | » | » | 9 |
| 10 к | » | 1 н | » | » | » | » | 10 |

На рис. 81 показана двуххордовая обмотка якоря с теми же техническими данными, что и предыдущая. Эта обмотка получила такое название потому, что намотка производится по двум хордам, симметрично расположенным по отношению к валу. Намотка производится в такой последовательности. Сначала наматывают пять витков из 1-го паза в 5-й, затем переводят намотку из 10-го паза в 6-й. Следующие две хорды наматываются из 1-го паза в 7-й и из 2-го в 6-й. Затем обе хорды продолжают сдвигать, по часовой стрелке, захватывая каждый раз по две пары пазов.

Рис. 81. Схема двуххордовой обмотки якоря

Соединение секций двуххордовой обмотки производится по тем же данным, что и обмотки в елочку.

По окончании обмотки якоря на вал насаживают коллектор и производят соединение выводных концов обмотки с пластинами коллектора. Для этого необходимо зачистить изоляцию на петлях, вложить их в прорези пластин и запаять.

## МЕХАНИЗАЦИЯ РУЧНЫХ ОБМОТОК

В современных машинах ручные обмотки уже не отвечают своему названию, так как при массовом производстве процессы укладки обмотки механизированы даже в большей степени, чем при производстве секционных обмоток.

На рис. 82, *а* дана схема работы станка для изолировки пазов. Электрокартон сматывают с рулона, ширина которого равна длине якоря. Полоса электрокартона заправляется в паз пуансоном станка *1* и удерживается в соседнем пазе пружинным прижимом *2*. После заправки ленты в паз пуансон и прижим под-

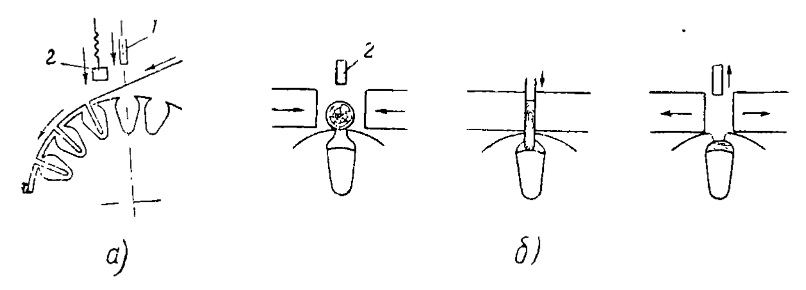



Рис. 82. Схемы станков:
*а* — для изолировки пазов, *б* — для заклинивания пазов

нимаются, якорь автоматически поворачивается на одно пазовое деление. Такие станки дают увеличение производительности в 10—15 раз по сравнению с ручной укладкой ленты.

Механизирована и самая обмотка якорей. На рис. 83 показан обмоточный станок с установленным на нем якорем. Якорь *2* устанавливается в центрах *4*, укрепленных на планшайбе *3*, и при работе станка вращается со скоростью от 500 до 1000 оборотов в минуту. Провод подается через ролики *5* с катушки *6*, установленной на стойке *7*, и направляется в пазы якоря крыльями *8*, вращающимися вместе с якорем. Схема работы станка при обмотке якоря с числом проводов в пазу 240 и числом секционных сторон *2* состоит из следующих операций:

1) якорь устанавливается в центрах станка, провод вводится в паз и конец его закрепляется за вал;

2) счетчик оборотов станка *1* устанавливается на число, равное числу витков в секции;

3) после пуска станка планшайба делает 60 оборотов, после чего автоматически выдвигается один крючок *9*, расположенный на стойке планшайбы, за который зацепляется один виток провода в виде петли;

4) планшайба делает еще 60 оборотов и выпускает второй, более длинный крючок, за который зацепляется вторая петля провода;

5) станок автоматически останавливается, направляющие



крылья отходят от якоря, зуб планшайбы поворачивает якорь на одно пазовое деление, в котором якорь запирается защелкой;

6) крылья снова упираются в якорь и планшайба начинает вращаться, повторяя операции 3 и 4. Операции 3, 4 и 5 повторяются столько раз, сколько пазов имеет якорь, после чего обмотанный якорь снимается со станка.

Станок имеет три крючка, что позволяет обматывать якори с числом секционных сторон 1, 2 и 3.

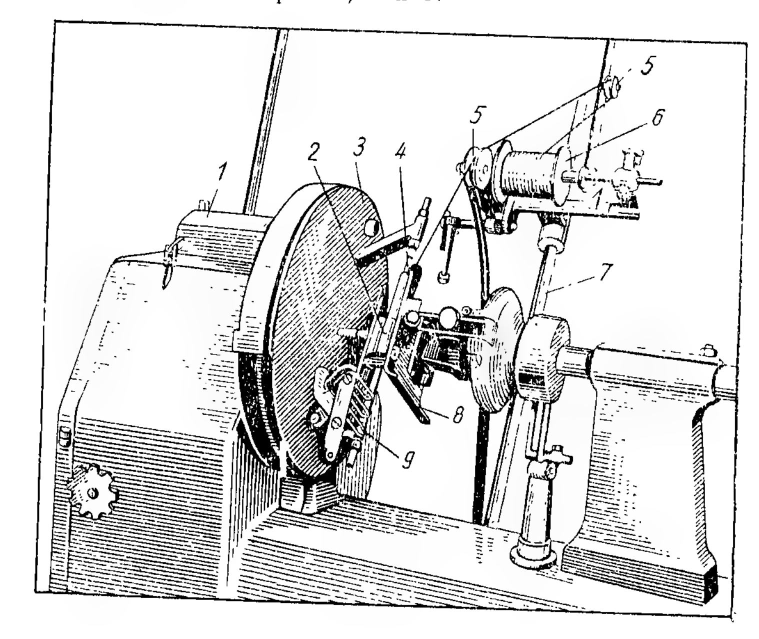



Рис. 83. Обмоточный станок для якорей

Станок дает повышение производительности в 16—20 раз по сравнению с ручной намоткой.

Существуют обмоточные станки других конструкций, у которых специальные устройства вкладывают провод в пазы якоря. При этом якорь или остается неподвижным, или совершает колебательные движения на величину шага обмотки. Однако такие станки получили значительно меньшее распространение, так как они имеют более низкую производительность по сравнению со станками с вращающимся якорем.

После окончания обмотки якоря изоляция якоря разрезается на зубцах и концы ее завертывают в паз. В якорях двухполюсных машин диаметром до 80 *мм* провода обмотки не требуют запирания их в пазу, так как каждый виток охватывает половину окружности якоря, поэтому не может выскочить из паза под действием центробежной силы. Однако для того, чтобы края пазовой гильзы не выступали за окружность якоря, пазы таких ма-

шин заклинивают. Деревянный клин получился бы слишком хрупким, и при толщине 1—1,5 *мм* его нельзя было бы забить в паз.

Рационализаторы одного из заводов предложили следующий оригинальный способ заклинивания пазов полоской электрокартона (рис. 84). Из электрокартона нарезаются полоски шириной, равной ширине паза. С двух сторон полоску надрезают ножницами и заправляют в паз с торца якоря. Затем полоску тянут на себя, причем часть ее, находящаяся слева от надреза, идет внутри паза, а другая часть идет поверх паза; связывающей частью

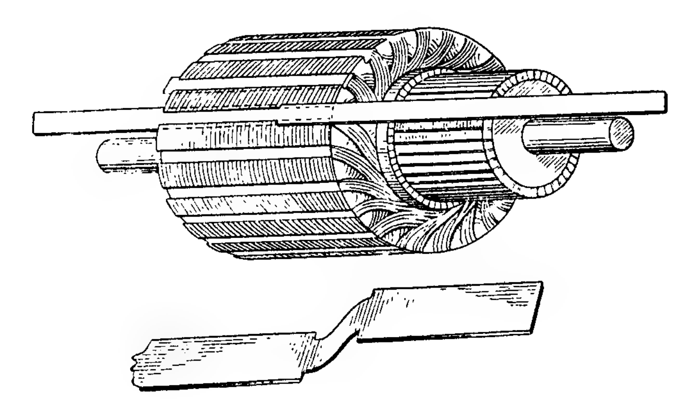


Рис. 84. Заклинивание пазов полоской электрокартона

между ними является часть полоски между надрезами. Когда надрезы дойдут до торца якоря, свободную часть полоски отрезают, затем снова делают два надреза и заклинивают второй паз. Этот способ в 5—10 раз производительнее, чем забивка деревянных клиньев.

Якори более крупных машин с полузакрытыми пазами заклинивают при помощи шнура, свернутого из бумажных лент.

Схема работы станка для заклинивания пазов показана на рис. 82, *б*.

Первая операция заключается в том, что шнур двумя боковыми пуансонами *1* сдавливается до толщины, несколько меньшей, чем прорезь паза. При этом сечение шнура из круглого превращается в прямоугольное. Затем вертикально движущийся пуансон *2* входит в щель между боковыми пуансонами и впрессовывает бумажный клин в паз. При этом клин изменяет форму своего сечения и заполняет верхнюю часть паза.

После этого пуансон отходит, якорь поворачивается на одно пазовое деление, станок подает новый конец шнура и описанные три операции повторяются снова.

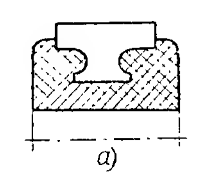
Особенно большое развитие получила механизация обмоточных работ малых якорей в массовом производстве электрических



машин автотракторного электрооборудования. Эта отрасль промышленности является ведущей в области механизации и автоматизации сложных и трудоемких процессов производства электрических машин. Созданы автоматические станки для сборки коллекторов, фрезерования прорезей в коллекторных пластинах, автоматы для формовки шинных обмоток якоря стартерных двигателей, автомат для сварки концов обмотки с коллекторными пластинами и сложные обмоточные станки, позволяющие выполнять не только простые ручные обмотки, но и более сложные, например, двухходовые обмотки.

## СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТКИ С КОЛЛЕКТОРОМ

Как было сказано ранее, ручные обмотки независимо от того, выполняются ли они вручную или на намоточных станках, наматываются в пазы якоря до насадки коллектора. По окончании намотки на вал насаживается коллектор. В машинах малой мощности в основном применяют коллекторы на пластмассе. На рис. 85, *а* показан такой коллектор в разрезе. Устройство его заключается в следующем. Коллекторные пластины показанной на рисунке формы штампуют из медной полосы клинообразного поперечного сечения. Из полос коллекторного миканита штампуют миканитовые прокладки такой же формы. Затем требуемое по расчету число коллекторных пластин с миканитовыми прокладками между ними спрессовывают в цилиндрическом стальном кольце.



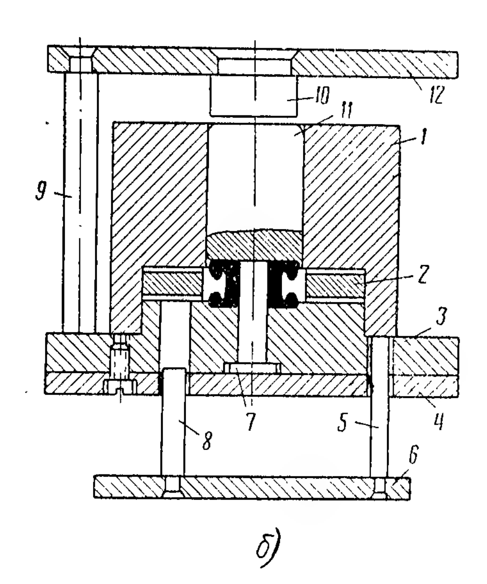




Рис. 85. Коллектор на пластмассе: *а* — конструкция коллектора, *б* — пресс-форма

На рис. 85, *б* показан процесс запрессовки коллектора в пластмассу. Стальное кольцо *2* с коллекторными пластинами вставляют в пресс-форму, нагретую до 180°. Пресс-форма состоит из плиты *4* и матрицы *3*, которая накрывается обоймой *1*. В центральное отверстие пресс-формы засыпается отвешенная порция пластмассы К6 с наполнителем в ви-

10—808

де асбеста. Затем в отверстие вставляется пуансон *11* и пресс-форма ставится под пресс, где выдерживается в течение 5—8 мин. Под действием нагрева и давления пластмасса превращается в монолитную прочную массу. По окончании прессовки пресс-форму вынимают из-под пресса и ставят отверстиями на стойки *5* и *8*, закрепленные в диске *6*. Сверху на нее накладывается диск *12* с тремя длинными стойками *9* и центральным стержнем *10*. На диски *6* и *12* снова дают давление пресса. При этом стойки *9* и *5* сдвигают обойму с матрицы, а стержень *10* выталкивает пуансон с готовым коллектором. Стойки *8* служат для сталкивания коллектора со стержня *7*, который формует отверстие для надевания коллектора на вал. Затем с коллектора сбивают прессовочное кольцо и отправляют коллектор в печь для выпекания пластмассы в течение 6—10 час. при температуре 140°. Выпекание служит для повышения прочности пластмассы.

Ступень вала, на которую должен быть насажен коллектор, подвергают накатке при помощи закаленных стальных роликов. Форма накатки сетчатая. Вал смазывают бакелитовым лаком и напрессовывают на него коллектор. При запекании лака коллектор прочно сцепляется с валом. Для вкладывания проводов обмотки в коллекторных пластинах фрезеруют прорези шириной на 0,2 *мм* больше диаметра провода. Соединение проводов с коллекторными пластинами производится при помощи паяния оловянисто-свинцовым припоем марки ПОС-61. Нагревание пластин коллектора производится паяльником. Процесс паяния надо вести быстро, чтобы не перегреть пластмассу.

Затем наружную поверхность коллектора протачивают на токарном станке и шлифуют при помощи стеклянной бумаги.

Обмотки якорей машин малой мощности, выполненные из провода с эмалевой изоляцией, не нуждаются в пропитке, так как эмаль обладает малой гигроскопичностью. Но лобовые части обмотки требуется защитить как от загрязнения, так и от передвигания лобовых частей под действием центробежных сил. При высоких скоростях вращения до 10 000 об/мин эти силы в несколько раз превосходят вес обмотки. Оба требования хорошо выполняются при запрессовке лобовых частей в пластмассу. Для этого применяют ручные или гидравлические прессы. Устройство ручного пресса показано на рис. 86. Якорь *1* устанавливается в трубе *2*, которая укреплена на стойке *12*. Торец якоря упирается в оправку *5*, в которой высверлено отверстие для конца вала. Регулирование положения оправки производится при помощи вращения маховика *3* на ходовом винте *4*. Этот же винт служит для выталкивания готового якоря. Пластмасса закладывается в бачок *8* и подается в трубку *2* поршнем *6*, который передвигается вращением маховичка *7*. С правой стороны труба *2* закрывается формой *10*, которая опрессовывает торец якоря при вращении рукоятки *11*. При этом рычаг навертывается на резьбу *9* на наружной поверхности трубы *2*.



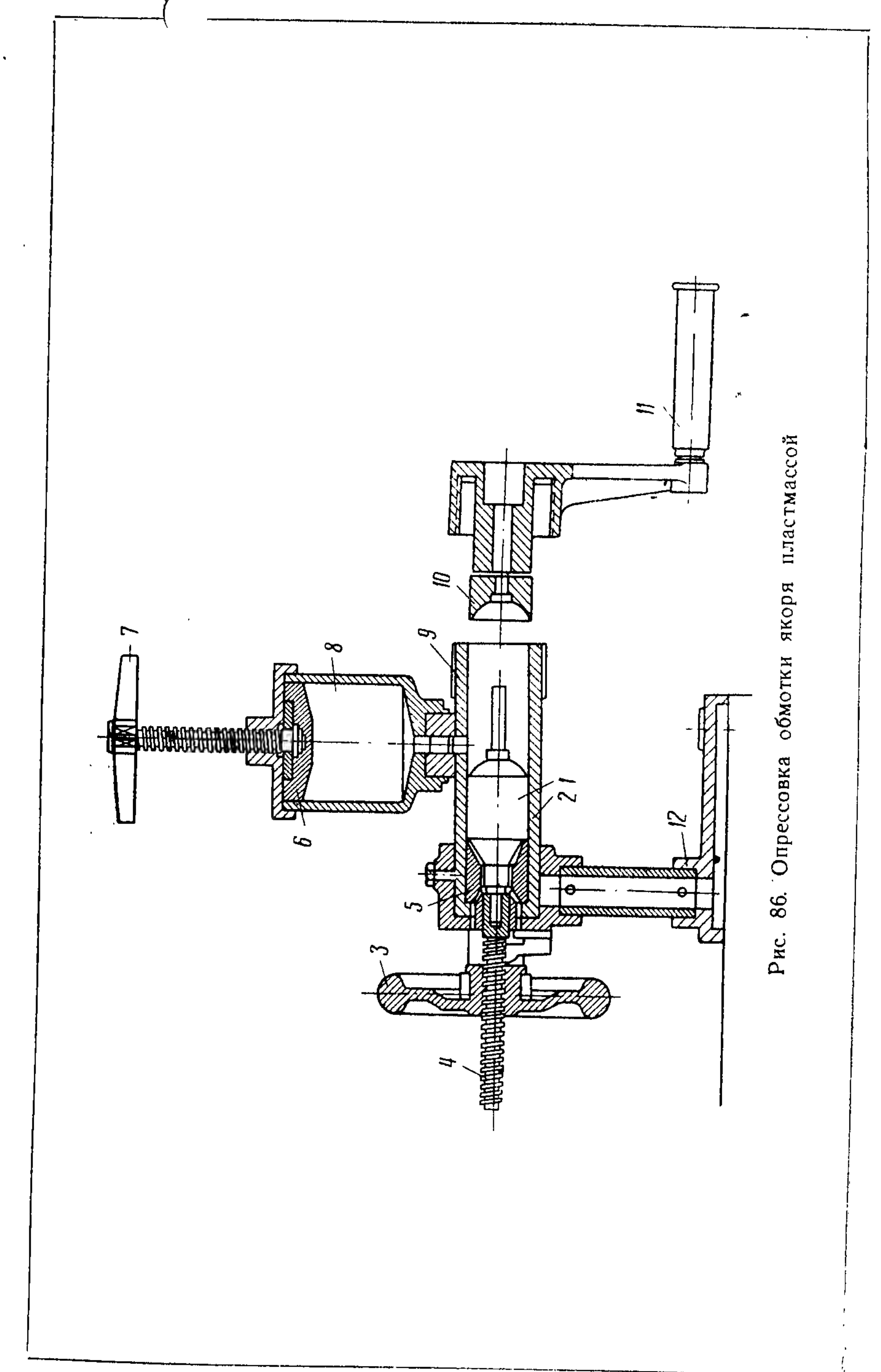


Рис. 86. Опрессовка обмотки якоря пластмассой

Глава XIII

# СХЕМЫ ДВУХСЛОЙНЫХ СЕКЦИОННЫХ ОБМОТОК ЯКОРЯ

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ОБМОТОК

В современных машинах постоянного тока якорь представляет собой цилиндр с пазами на поверхности, в которых располагаются провода обмотки. Обмотка состоит из катушек, расположенных в два слоя: одна сторона катушки лежит на дне паза, а другая — в верхней части паза.

Якорные обмотки изображаются в виде чертежей и схем. На чертежах указывается расположение катушки на якоре, изоляция паза, изоляция лобовых частей и укрепление обмотки в пазах и на лобовых частях при помощи бандажей и клиньев.

Назначение схем якорных обмоток состоит в том, чтобы изобразить порядок укладки катушек в пазы и присоединения концов секций к коллектору. Чтобы правильно выполнить обмотку якоря, надо уметь читать схемы обмоток.

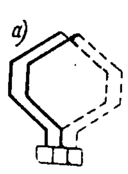
Схемы обмоток якоря, как и схемы обмоток машин переменного тока, бывают торцовые и развернутые. На торцовых схемах дается схематический вид торца якоря с лежащими в пазах проводами. Лобовые части обмотки с противоположной стороны якоря условно изображаются над окружностью якоря. Развернутая схема изображает наружную поверхность якоря и коллектора развернутыми на плоскость.

Отличие обмоток якоря от обмоток машин переменного тока состоит в том, что все секции обмотки укладываются в пазы и присоединяются к коллекторным пластинам симметрично, одна по отношению к другой. Схема показывает, как надо вложить в пазы и присоединить к коллектору первую секцию, а остальные секции будут ложиться симметрично, сдвигаясь по окружности якоря. Для этой цели наиболее удобны торцовые схемы как более наглядные и простые. Поэтому на практике чаще всего встречаются именно торцовые схемы обмотки якоря с изображением укладки одной секции или одной катушки. Такие схемы носят название практических схем обмотки. К развернутым схемам обычно прибегают лишь для сравнения различных типов обмоток (петлевые, волновые и т. п.).

Обмотки якорей машин постоянного тока разделяют на два основных типа: петлевые обмотки и волновые обмотки. На рис. 87 дана принципиальная схема петлевой обмотки в развернутом виде. Она получила свое название потому, что при обходе обмотка совершает петли. Как видно на рис. 87, у петлевой обмотки начало и конец каждой секции сближены и присоединены к двум соседним коллекторным пластинам.



На рис. 88 дана принципиальная схема волновой обмотки. В отличие от петлевой концы секций волновой обмотки разведены в разные стороны и присоединены к двум коллекторным пластинам, удаленным одна от другой на двойное полюсное деление. Поэтому при обходе проводов обмотки совершаем волнообразный путь. Если катушки изготовлены из шинной меди, то по расположению выводных концов легко определить, предназначены ли они для петлевой или волновой обмотки. Если же катушки изготовлены из проволоки, то концы их мягкие и выгибаются на якоре при укладке в пазы. Такие катушки могут быть применены как для волновой, так и для петлевой обмотки. Обмотки, схемы которых даны на рис. 87 и 88, называются простыми. Кроме того, существуют сложно-петлевые и сложно-волновые обмотки, которые разбираются ниже.



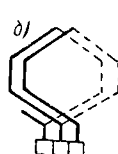




Рис. 87. Принципиальные схемы петлевых обмоток: а — правая, б — левая

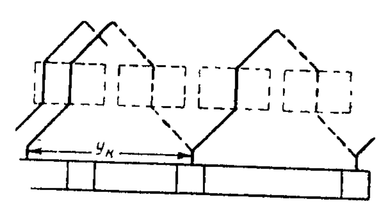



Рис. 88. Принципиальная схема волновой обмотки

Катушки секционных обмоток подвергаются значительным усилиям при намотке и укладке в пазы. Поэтому изоляция проводов должна быть прочной. Для машин с изоляцией класса А применяют провод марки ПБД, а для машин с изоляцией класса В — провода марок ПСД или ПДА.

## ПРОСТАЯ ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА

У простой петлевой обмотки шаг по коллектору всегда равен 1. Это значит, что начало и конец секции присоединяют к двум соседним коллекторным пластинам. На рабочих чертежах это обозначается так: шаг по коллектору 1—2.

Шаг по пазам обмотки якоря показывает, на каком расстоянии должны находиться стороны катушки. Шаг по пазам, как и для двухслойных обмоток переменного тока, определяется формулой

$$y_z = \frac{z}{2p},$$

где $2p$ — число полюсов машины;

$z$ — число пазов якоря.

Ввиду того, что часто число пазов не делится без остатка на число полюсов, за шаг обмотки по пазам принимают ближайшее целое число. Например, если $z = 43$, а $2p = 6$ и $y_z = \frac{43}{6} = 7\frac{1}{6}$, то шаг обмотки берут равным 7.

При укладке катушек в пазы якоря надо к номеру паза, в который вкладывается нижняя сторона катушки, прибавить число, выражающее шаг обмотки по пазам, и получим номер паза, в который должна быть вложена верхняя сторона катушки.

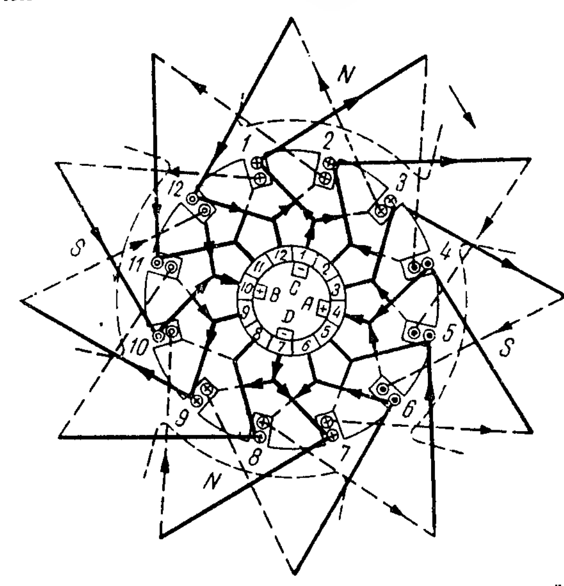



Рис. 89. Торцовая схема простой петлевой обмотки

При выполнении петлевой обмотки, начиная с какой-нибудь катушки обмотки перемещаются к соседней катушке. Перемещение может быть вправо или влево в зависимости от того, будем ли мы присоединять к первой секции вторую, лежащую справа или слева от нее. В первом случае обмотка называется правой (см. рис. 87, *б*). Левые (см. рис. 87, *а*), а во втором случае — левой петлевые обмотки почти никогда не применяются, так как у них провода, выходящие к коллектору, перекрещиваются, что затрудняет укладку обмотки и вызывает увеличенный расход обмоточного провода.

На рис. 89 дана полная торцовая схема простой петлевой обмотки якоря четырехполюсного генератора, имеющего 12 пазов. Как видно на схеме, шаг обмотки по пазам $y_z = 3$, так как секции укладываются из 1-го паза в 4-й паз. Каждая секция имеет



только два вывода, поэтому число коллекторных пластин равно числу пазов. Обходя обмотку, начиная с коллекторной пластины *1*, будем перемещаться по коллектору вправо, следовательно, это — правая петлевая обмотка. Начало первой секции соединено с коллекторной пластиной *1*, а конец первой секции соединен с коллекторной пластиной *2*, т. е. шаг по коллектору равен *1*. На коллекторе показаны четыре щетки, обозначенные буквами *A*, *B*, *C*, *D*. Через щетки *A* и *B* ток направлен из обмотки якоря во внешнюю цепь, а через щетки *C* и *D* ток направлен в обмотку якоря.

На схемах генераторов щетки, через которые ток направлен во внешнюю цепь, обозначают знаком + и называют положительными, а щетки, через которые ток направлен в обмотку, обозначают знаком — и называют отрицательными. У электродвигателей полярность щеток обратная.

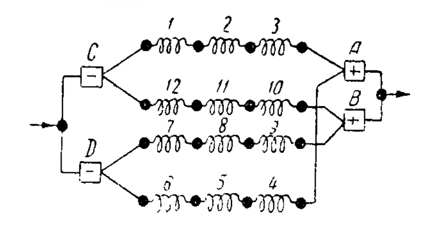



Рис. 90. Распределение тока между параллельными ветвями обмотки

Через каждую пару щеток течет весь ток якоря. Следовательно, в четырехполюсной машине через одну щетку течет половина тока якоря. На схеме видно, что к каждой коллекторной пластине подведены два провода обмотки.

Таким образом, ток в каждом проводе обмотки равен половине тока, проходящего через щетку, или одной четверти общего тока якоря.

Отсюда можно сделать вывод, что обмотка якоря имеет четыре параллельные ветви. Распределение тока якоря между щетками и параллельными ветвями показано на схеме (рис. 90), где секции обмотки обозначены спиралями с цифрами, указывающими на их номера.

Общее правило *для простых петлевых обмоток* выражается так: *число параллельных ветвей обмотки 2a равно числу полюсов машины, т. е.* $2a = 2p$.

Простые петлевые обмотки применяются в машинах средней мощности низкого напряжения, чтобы разделить большой ток якоря на параллельные ветви и тем самым уменьшить сечение проводов.

На рис. 89 показана схема обмотки, состоящей из так называемых *элементарных катушек*. Элементарные катушки имеют только два вывода и поэтому в каждом пазу показано по два провода. Такая схема приведена в упрощенном виде. В действительности каждая катушка якоря состоит из нескольких элементарных секций и поэтому на схемах и в чертежах разрезов пазов показывают несколько проводов (см. рис. 19). Число проводов в каждом горизонтальном слое обмотки в пазу называет-

ся числом секционных сторон катушки. В таких схемах число коллекторных пластин не равно числу пазов, а больше его во столько раз, сколько секционных сторон имеет катушка.

На рис. 19 показан разрез паза, в котором число проводов в горизонтальном слое равно четырем. Следовательно, катушка имеет четыре секционные стороны и у такого якоря число коллекторных пластин должно быть в четыре раза больше числа пазов.

Число слоев проводов в сечении катушки показывает, сколько витков имеет катушка. На рис. 19 число витков равно четырем. Поэтому число проводов в сечении катушки будет $4 \times 4 = 16$, а число проводов в пазу $2 \times 16 = 32$.

## СЛОЖНО-ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА

Сложно-петлевая обмотка представляет собой две петлевые обмотки, вложенные в пазы одного якоря и соединенные между собой параллельно щетками на коллекторе. Как было сказано выше, шаг по коллектору простой петлевой обмотки всегда равен 1. Если на якоре надо уложить сложно-петлевую обмотку, состоящую из двух простых петлевых обмоток, то между коллекторными пластинами, к которым присоединяются выводы первой обмотки должны быть оставлены свободные пластины для вкладывания выводов второй обмотки. Поэтому шаг обмотки по коллектору для сложно-петлевой обмотки будет равен *2*, т. е. из коллекторной пластины *1* в пластину *3*.

На рис. 91 дана торцовая схема сложно-петлевой обмотки четырехполюсной машины, якорь которой имеет 16 пазов, а коллектор — 16 коллекторных пластин. Чтобы не затруднять разбор схемы, на ней не показана окружность якоря и очертания пазов. В каждом пазу лежит по два провода, а цифры около этих проводов обозначают номера пазов.

Шаг по пазам равен 4, как это вытекает из формулы

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{16}{4} = 4, \text{ т. е. } 1 - 5.$$

Шаг обмотки по коллектору равен 2, т. е. 1—3.

Если начнем обходить обмотку от коллекторной пластины *1*, то будем передвигаться по якорю вправо, следовательно, это — правая петлевая обмотка. Но при обходе обмотки будут оставаться незахваченными секции, составляющие вторую обмотку. Таким образом, провода одной простой обмотки присоединяются к коллекторным пластинам с нечетными номерами, а провода второй обмотки к пластинам с четными номерами.

Две соседние коллекторные пластины всегда замыкаются щеткой, так как ширина щетки в два-три раза больше ширины коллекторной пластины. Таким образом, ток к каждой щетке подходит от двух коллекторных пластин. Ток одной щетки в че-



тырехполюсной машине составляет половину общего тока якоря, а ток каждой коллекторной пластины разветвляется на две ветви обмотки. Поэтому ток одной ветви сложно-петлевой обмотки составляет $^1/_8$ общего тока якоря, а число параллельных ветвей обмотки равно 8.

Отсюда можно вывести правило: *число параллельных ветвей сложно-петлевой обмотки 2а в два раза больше числа полюсов машины.*

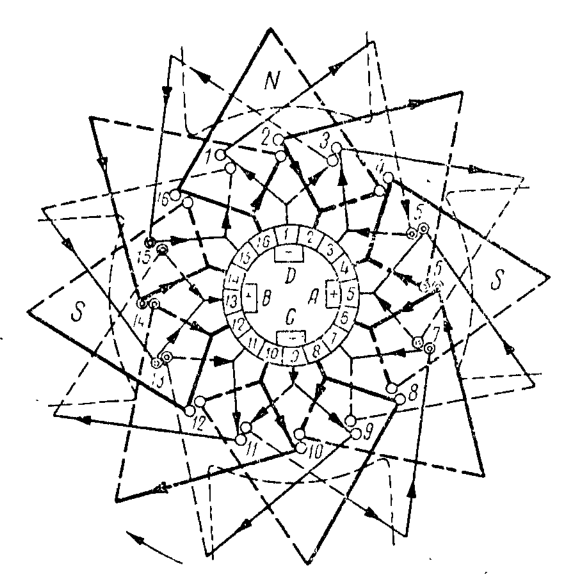



Рис. 91. Торцовая схема сложно-петлевой обмотки

К сложно-петлевым обмоткам прибегают в тех случаях, когда надо увеличить число параллельных ветвей обмотки, чтобы снизить ток в каждой параллельной ветви. Это бывает необходимо в низковольтных машинах большой мощности, у которых велик ток якоря.

При разборе схемы мы делали обход сначала одной петлевой обмотки, затем второй петлевой обмотки, составляющих сложно-петлевую обмотку. При обматывании якоря укладка катушек первой и второй обмотки производится подряд. При этом секции первой и второй обмотки не обязательно должны лежать в разных пазах. Они могут лежать и в одном пазу, если катушка имеет несколько секционных сторон.

Схема обмотки (рис. 91) называется двукратно-замкнутой, так как состоит из двух обмоток, соединенных только щетками на коллекторе. Двукратно-замкнутые сложно-петлевые обмотки получаются в тех случаях, когда шаг по коллектору и число коллекторных пластин имеют общий делитель. В этой об-

мотке $к = 16$, $y_к = 2$; значит, общий наибольший делитель будет 2 и обмотка получилась двукратно-замкнутой. Если бы число коллекторных пластин было нечетное, то обмотка получилась бы однократно-замкнутой. При обходе такой обмотки сначала будем попадать только в нечетные пластины коллектора, затем перейдем на четные, после чего обмотка замкнется на той коллекторной пластине, с которой началась, т. е. на коллекторной пластине *1*.

На практических занятиях для лучшего усвоения рекомендуется самостоятельно составить схему сложно-петлевой обмотки со следующими данными: $2p = 4$, $z = 15$, $к = 15$, $y_к = 2$.

## ПРОСТАЯ ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

Характерная особенность волновой обмотки заключается в том, что выводные концы секции присоединяются не к соседним коллекторным пластинам, как в петлевой обмотке, а к двум коллекторным пластинам, расстояние между которыми равно двойному полюсному делению. В четырехполюсной машине эти пластины будут расположены на противоположных сторонах коллектора. Но обойдя окружность якоря мы должны попасть в коллекторную пластину, соседнюю с той, от которой начали обход якоря. Шаг волновой обмотки по коллектору определяется формулой

$$y_к = \frac{к \pm 1}{p},$$

где $к$ — число коллекторных пластин;

$p$ — число пар полюсов.

Шаг по коллектору должен выражаться целым числом. Поэтому в четырехполюсной машине ($p = 2$) число коллекторных пластин при волновой обмотке обязательно должно быть нечетным. Волновая обмотка может быть правой или левой. В первом случае, обойдя якорь, мы придем к коллекторной пластине, расположенной справа от первой, а во втором случае — к коллекторной пластине, расположенной слева от первой. Чтобы получить правую обмотку, надо в формуле, определяющей шаг по коллектору, взять в числителе знак +. В противоположность петлевой обмотке правая волновая обмотка получается с перекрещенными концами у коллектора, и в практике ее избегают применять по тем же соображениям, как и левую петлевую. Поэтому почти всегда применяется левая волновая обмотка, для которой шаг по коллектору выражается формулой

$$y_к = \frac{к - 1}{p}.$$



**Пример.** Определить шаг по коллектору для волновой обмотки шестиполюсной машины ($p = 3$), коллектор которой имеет 58 пластин:

$$y_к = \frac{58 - 1}{3} = 19,$$

т. е. шаг по коллектору будет 1 — 20.

На рис. 92 показана торцовая схема волновой обмотки четырехполюсной машины, якорь которой имеет 19 пазов и 19 коллекторных пластин.

Шаг по пазам определяется по общей для всех обмоток формуле

$$y_z = \frac{z}{2p} = \frac{19}{4} = 4\frac{3}{4}.$$

Отбрасывая дробь $\frac{3}{4}$, получаем шаг, равный 4, т. е. 1—5, как это видно на схеме.

Шаг по коллектору:

$$y_к = \frac{к - 1}{p} = \frac{19 - 1}{2} = 9, \text{ т. е. } 1 - 10.$$

Обмотка получается левая волновая, так как в числителе взят знак минус. Производя обход обмотки от коллекторной пластины *1* и обойдя окружность якоря, попадаем в коллекторную пластину *19*, лежащую слева от пластины *1*. При этом концы обмотки не перекрещиваются.

*Число параллельных ветвей 2а волновой обмотки не зависит от числа полюсов машины и всегда равно 2.*

При положении якоря, изображенном на рис. 92, видно, что токи обеих половин обмотки расходятся от коллекторной пластины *2* и сходятся к коллекторной пластине *16*. Если на эти коллекторные пластины поставить две щетки, то по отношению к ним обе части обмотки будут включены параллельно, т. е. обмотка состоит из двух параллельных ветвей.

Рис. 92. Торцовая схема простой волновой обмотки

В волновой обмотке для отвода тока достаточно двух щеток *А* и *В*, отстоящих одна от другой на одно полюсное деление, и машина будет работать, если снять щетки *С* и *D*. Однако на практике для уменьшения длины коллектора устанавливают полное число щеток, равное числу полюсов. Машины с уменьшенным числом щеток при волновой обмотке якоря применяются только в тех случаях, когда доступ

к коллектору затруднен. Например, в некоторых трамвайных двигателях ставят на коллекторе только две щетки, доступ к которым осуществляется через люк в дне вагона.

В волновых обмотках число коллекторных пластин не может быть выражено любым числом. Это вытекает из формулы шага обмотки по коллектору:

$$y_к = \frac{к-1}{p}.$$

Согласно этой формуле для четырехполюсной машины число коллекторных пластин обязательно должно быть нечетным, так как при четном числе коллекторных пластин шаг по коллектору получится дробным. Например, при $к = 20$ $y_к = \frac{20-1}{2} = 9\frac{1}{2}$, что не может быть выполнено. Таким образом, в волновых обмотках число коллекторных пластин должно удовлетворять двум условиям. Первое условие заключается в том, что число коллекторных пластин равно числу пазов, умноженному на число секционных сторон катушки, а второе условие определяется тем, что шаг по коллектору должен быть целым числом. В практике встречаются обмотки, в которых оба условия не могут быть выполнены. Разберем такой пример: число пазов $z = 20$, число секционных сторон катушки $s = 1$, число полюсов $2p = 4$. По первому условию число коллекторных пластин должно быть равно числу пазов, умноженному на число секционных сторон катушки, $к = 20 \times 1 = 20$. Но по второму условию для четырехполюсной машины число коллекторных пластин должно быть обязательно нечетным. В таком случае приходится нарушить первое условие и взять коллектор с 19 пластинами. Тогда для одной секции не хватит места на коллекторе. Поэтому у одной секции отрезают выводы и не присоединяют их к коллектору. Такие секции называют мертвыми, так как они, хотя и лежат в пазах, но не соединены с остальными проводами обмотки и ток в них не протекает.

Схема волновой обмотки с мертвыми проводами дана на рис. 93, где мертвые провода изображены жирными линиями. Обычно их располагают на якоре так, чтобы верхний провод лежал в последнем пазу якоря, а нижний отстоял от него на величину шага обмотки.

Мертвые провода нарушают симметрию в обмотке, и на них бесполезно затрачивается медь, но оставлять места мертвых проводов пустыми или заполнять их легкими изоляционными материалами нельзя, так как при этом смещается центр тяжести якоря, и его трудно будет сбалансировать. Поэтому стараются избегать применения обмоток с мертвыми проводами, а для этого надо, чтобы число коллекторных пластин удовлетворяло обоим условиям. Так, в четырехполюсной машине согласно первому



условию число коллекторных пластин должно быть нечетным. По второму условию число пазов якоря и число секционных сторон катушки должно быть нечетным. Например, в обмотке, у которой $2p=4$, $z=19$, $s=3$ и $к=57$, шаг по коллектору получится целым числом $y_z = \frac{57-1}{2} = 28$ и потому в мертвых проводах нет надобности.

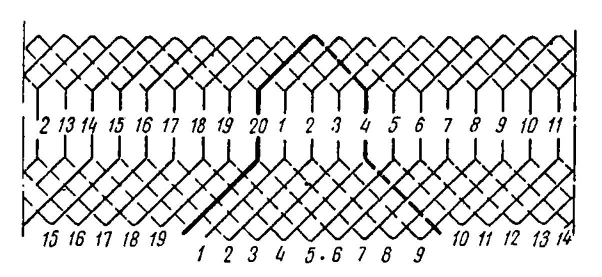



Рис. 93. Схема волновой обмотки с мертвыми проводами

Мертвые провода могут быть только в волновых обмотках. У петлевых обмоток число коллекторных пластин не связано двумя условиями и мертвых проводов у них не бывает.

## СЛОЖНО-ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

Сложно-волновая обмотка представляет собой несколько волновых обмоток, уложенных в пазы одного якоря. Число параллельных ветвей в такой обмотке будет во столько раз больше числа параллельных ветвей простой петлевой обмотки, из скольких простых обмоток она состоит. Практически применяется *двукратная волновая обмотка, у которой при любом числе полюсов число параллельных ветвей будет $2a = 4$.*

Сделав полный обход якоря, придем в коллекторную пластину, лежащую не рядом с первой, а не доходя до нее на одну пластину. Чтобы это условие выполнить, шаг по коллектору двукратной левой волновой обмотки будет выражаться формулой

$$y_к = \frac{к-2}{p}.$$

Если число пар параллельных ветвей и шаг по коллектору не имеют общего делителя, то обмотка будет однократно-замкнутая. Это значит, что, начав обход из пластины *1*, снова придем в нее, обойдя все провода обмотки. Если же число параллельных ветвей обмотки и шаг по коллектору имеют общий делитель, то сложно-волновая обмотка будет состоять из двух самостоятельных обмоток, как бы вложенных одна в другую и соединяющихся между собой через щетки.

Сложно-волновые обмотки применяются в сочетании с петлевыми в лягушечьих обмотках, которые будут рассмотрены в главе XVIII.

**Пример.** Дана сложно-волновая обмотка для машины со следующими данными: $2p = 6$, $z = 76$, $s = 2$.

Число коллекторных пластин $к = 76 \times 2 = 152$. Шаг по коллектору

$$y_к = \frac{152 - 2}{3} = 50.$$

Число пар параллельных ветвей $a = 2$, как у сложно-волновой обмотки.

Ввиду того, что общий наибольший делитель между $a$ и $y_к$ будет 2, обмотка является двукратно-замкнутой.

## УРАВНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

В петлевых обмотках каждая параллельная ветвь обмотки расположена под парой соседних полюсов. Поэтому неравенство потоков отдельных пар полюсов вызывает неравенство электродвижущих сил отдельных параллельных ветвей обмотки. Неравенство потоков может быть вызвано или неравномерным зазором между якорем и полюсами или наличием раковин в отливках магнитных станин. Это вызывает уравнительные токи между отдельными параллельными ветвями, проходящие через щетки и шины, соединяющие щетки одинаковой полярности. Ввиду того, что сопротивление этой цепи ничтожно, даже небольшая разница электродвижущих сил вызывает большие уравнительные токи, которые нагружают щетки и вызывают искрение на коллекторе. Для борьбы с уравнительными токами обмотку снабжают уравнительными соединениями. Эти соединения выполняют из медных проводов, которые соединяют коллекторные пластины, лежащие под щетками одинаковой полярности. Уравнительные соединения чаще всего помещают под лобовыми частями обмотки и вкладывают их в прорези коллекторных пластин перед укладкой катушек обмотки (рис. 94). Обычно уравнительные соединения ставят не во все коллекторные пластины. Считается достаточным, если одно уравнительное соединение будет приходится на паз якоря, а число уравнительных соединений равно числу пазов. Поперечное сечение провода для уравнительных соединений берут от $^1/_5$ до $^1/_3$ сечения провода обмотки.

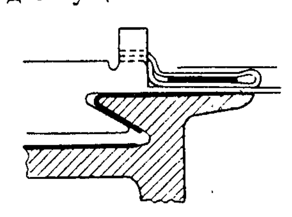


Рис. 94. Уравнительные соединения под лобовыми частями обмотки

Шаг уравнительных соединений равен числу коллекторных пластин, разделенному на число пар параллельных ветвей:

$$y_{ур} = \frac{к}{a}.$$



Для петлевой обмотки шаг уравнительных соединений равен числу коллекторных пластин, деленному на число пар полюсов. Так как шаг уравнительных соединений должен выражаться целым числом, необходимо чтобы в машинах с уравнительными соединениями число пластин коллектора делилось без остатка на число пар полюсов.

**Пример.** Определить шаг и число уравнительных соединений петлевой обмотки якоря шестиполюсной машины, имеющей 162 коллекторные пластины. Шаг уравнительных соединений будет:

$$y_{ур} = \frac{к}{p} = \frac{162}{3} = 54, \text{ т. е. } 1 - 55.$$

Число коллекторных пластин, соединяемых одним уравнительным соединением, равно числу пар полюсов, т. е. 3. Если уравнительные соединения будут поставлены через две коллекторные пластины, то всего на якорь потребуется $162 : 9 = 18$ уравнительных соединений. Расстановка их может быть выражена следующей таблицей, указывающей номера коллекторных пластин, к которым присоединяется уравнительное соединение:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1-е | уравнительное | соединение | 1—55—109 |
| 2-е | » | » | 4—58—112 |
| 3-е | » | » | 7—61—115 |
| 4-е | » | » | 10—64—118 |
| 5-е | » | » | 13—67—121 и т. д. |

Уравнительные соединения конструктивно выполняются двух видов: в виде колец и в виде вилок. В первом случае каждое уравнительное соединение будет представлять собой кольцо из провода с тремя симметрично расположенными отпайками, присоединяемыми к коллекторным пластинам 1—55—109 и т. д. Во втором случае каждое уравнительное соединение будет состоять из двух вилок. Одна соединяет пластины 1 и 55, а вторая 55 и 109.

В четырехполюсной машине каждое уравнительное соединение должно замыкать две противоположные точки обмотки, отстоящие одна от другой на двойное полюсное деление. Такие соединения удобнее делать в виде вилок, которые припаивают или к хомутикам секции или к пластинам коллектора.

При большом числе полюсов каждое уравнительное соединение должно состоять из нескольких вилок, число которых равно числу пар полюсов. Чтобы облегчить выполнение уравнительных соединений в многополюсных машинах их делают в виде колец с числом отпаек, равным числу пар полюсов.

Уравнительные соединения выполняются из обмоточной меди или из голых медных шин и изолируются так же, как и секции обмотки. Простые волновые обмотки не требуют уравнительных соединений, так как провода каждой параллельной ветви располагаются под всеми полюсами. Поэтому неравенство потоков отдельных полюсов машины в одинаковой степени скажется на всех параллельных ветвях, и электродвижущие силы в них будут равны. Но для сложно-волновых обмоток необходимы урав-

нительные соединения. Соседние коллекторные пластины принадлежат разным простым волновым обмоткам. Если переходные сопротивления между щетками и коллекторными пластинами, принадлежащими разным обмоткам, будут не равны, то и токи в отдельных волновых обмотках также будут разными. Неравномерное распределение тока между отдельными волновыми обмотками повлечет за собой неравные падения напряжения, вследствие чего напряжения между соседними коллекторными пласти-

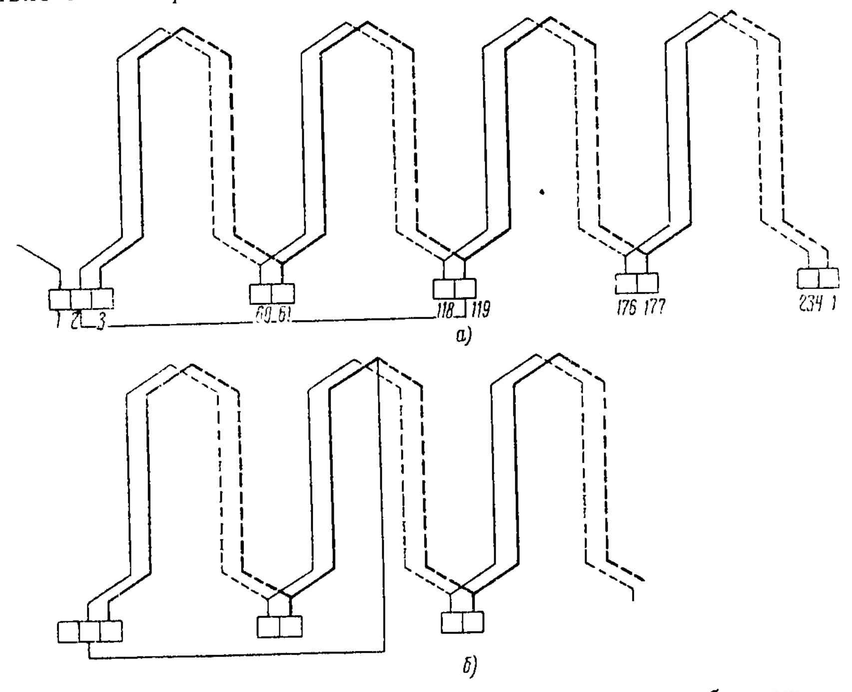



Рис. 95. Уравнительные соединения в сложно-волновых обмотках:
*а* — при четном числе пар полюсов *б* — при нечетном числе пар полюсов

нами могут сильно увеличиться. Для того чтобы избежать повышения напряжения между соседними пластинами и для выравнивания его, необходимо простые волновые обмотки, составляющие сложно-волновую обмотку, связать между собой уравнительными соединениями.

На рис. 95, *а* показана часть схемы сложно-волновой обмотки со следующими данными: $2p=8$, $z=78$, $s=3$, $к=78\times3=234$,

$$y_к = \frac{234-2}{4} = 58; \qquad y_{ур} = \frac{234}{2} = 117.$$

Между пластинами *1* и *3* включены последовательно четыре секции. Чтобы коллекторная пластина *2* делила напряжение между ними пополам, ее необходимо соединить с коллекторной



пластиной 119, которая принадлежит другой обмотке и находится посредине между пластинами *1* и *3* на противоположной точке схемы. При нечетном числе пар полюсов уравнительным соединением соединяются точки схемы, находящиеся на противоположных торцах якоря и соединение проходит вдоль якоря, как показано на схеме шестиполюсной обмотки (рис. 95, *б*).

Число уравнителей в сложно-волновой обмотке берется около двух на полюс.

В сложно-петлевой обмотке, состоящей из двух простых петлевых обмоток, для устранения возможности возникновения урав-

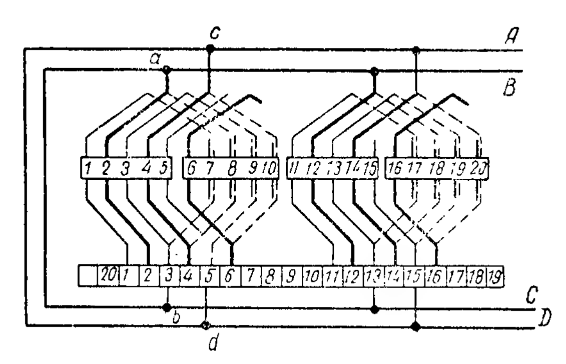



Рис. 96. Уравнительные соединения в сложно-петлевой обмотке

нительных токов, вследствие неравенства магнитных потоков отдельных полюсов, каждая из петлевых обмоток должна быть выполнена с уравнительными соединениями. Уравнительные соединения для одной обмотки выполняются со стороны коллектора, а для другой — со стороны, противоположной коллектору. Кроме того, для достижения равномерного распределения напряжения между соседними коллекторными пластинами обе петлевые обмотки должны быть связаны между собой уравнительными соединениями. Эти соединения протягиваются с одной стороны якоря на другую. Их укладывают в промежутках между ребрами якорной втулки или через осевые каналы якоря.

На рис. 96 дана часть схемы сложно-петлевой обмотки с уравнительными соединениями. Данные этой обмотки: $2p=4$, $z=20$, $к=20$, число параллельных ветвей $2a=8$. На схеме провода, принадлежащие двум петлевым обмоткам, составляющим сложно-петлевую обмотку, изображены тонкой и толстой линиями. Уравнительные соединения (на схеме *А*, *В*, *С* и *D*) расположены с обеих сторон якоря. Шаг уравнительных соединений:

$$y_{ур} = \frac{к}{p} = \frac{20}{2} = 10.$$

Уравнительные соединения между обмотками обозначены линиями *ab* и *cd*, переходящими с одной стороны якоря на другую (с левой стороны схемы).

Из схемы видно, что уравнительное соединение $ab$ соединяет середину секции, состоящей из проводов *2* и *8*, с коллекторной пластиной *3*, принадлежащей второй петлевой обмотке. Благодаря такому соединению напряжение между пластинами *2* и *4* делится коллекторной пластиной *3* пополам. Напряжения между коллекторными пластинами *2* и *3* и пластинами *3* и *4* равны напряжению одного провода.

## СПОСОБЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБМОТОК НА СХЕМАХ

Обмотки якоря могут быть представлены такими же развернутыми схемами, как и обмотки статора асинхронных электродвигателей.

Однако в построении полных развернутых схем обмотки якоря нет никакой необходимости, и обычно их строят только в учебных целях для лучшего освоения обмоток.

Рис. 97. Практическая схема обмотки якоря

Разница между якорными и статорными обмотками заключается в том, что якорная обмотка не имеет трех фаз, поэтому все секции укладывают в пазы и соединяют с коллекторными пластинами совершенно симметрично. Отсюда следует, что если правильно уложена и соединена с коллекторными пластинами первая катушка, то обмотка будет выполнена правильно. Поэтому на рабочих чертежах для укладки обмотки даются только практические схемы, представляющие собой схему укладки секций первой катушки. Но с другой стороны схема укладки первой катушки должна быть выполнена с соблюдением правил симметрии обмотки.

На рис. 97 показана практическая схема обмотки якоря. На схеме видно, что первая катушка вкладывается нижней стороной в паз *9*, а верхней стороной в паз *1*. Катушка имеет три секционные стороны, каждая из которых присоединяется к отдельной пластине коллектора. Число коллекторных пластин $к=93$, а число полюсов $2p=4$. Из этих данных можно определить шаг по коллектору волновой обмотки. Он равняется:

$$y_к = \frac{93-1}{2} = 46, \text{ т. е. } 1-47.$$

Если средний выводной конец катушки, выходящий из паза *1*, присоединить к пластине *1*, то симметрично ему расположенный выводной конец, выходящий из паза *9*, надо присоединить к коллекторной пластине *47*. Другие концы катушки соответственно



присоединяются к пластинам *93* и *2* с одной стороны, *46* и *48* с другой стороны коллектора.

После укладки первой катушки следующие катушки будут располагаться совершенно симметрично как по пазам, так и по коллектору.

Часто обмотчику приходится выполнять обмотку без чертежей, например при ремонте обмотки. Прежде чем приступать к обмотке, ему необходимо убедиться в том, что принятая им схема является правильной. Это особенно важно в волновых обмотках, у которых ошибка в шаге по пазам или по коллектору, или неправильный их выбор приведет к тому, что обмотка будет неверной. Проверку можно было бы сделать, построив полную развернутую схему обмотки. Но для этого нужна клетчатая бумага или миллиметровка и чертежные принадлежности, так как от руки такую схему начертить трудно. Кроме того, если якорь имеет большое число пазов, а катушка несколько секционных сторон, то такая схема получится очень громоздкой и при ее построении легко запутаться.

Поэтому для проверки схемы якорной обмотки можно пользоваться расчетными таблицами. Если такая таблица сделана и результаты ее получились правильные, то тем самым проверена правильность обмотки и отпадает необходимость в построении развернутой схемы.

Для составления таких таблиц надо познакомиться с двумя важными величинами в обмотке, которые называются частичными шагами.

Частичным шагом обмотки называется расстояние между двумя соединяемыми при помощи лобовых частей проводами, лежащими в пазах. Это расстояние выражается числом заключенных между ними проводов обмотки. Обмотка имеет два частичных шага: первый частичный шаг обозначается $y_1$ и показывает расстояние между проводами со стороны, противоположной коллектору. Второй частичный шаг обозначается $y_2$ и показывает расстояние между проводами со стороны коллектора.

Для выполнения обмотки из шаблонных катушек необходимо, чтобы первый частичный шаг обмотки равнялся произведению шага по пазам на число секционных сторон:

$$y_1 = y_z \times s.$$

Если это условие выполнено, то в лобовых частях провода обмотки будут соединяться так, что в каждом пазу левый верхний провод будет соединяться с левым нижним другого паза, средний верхний со средним нижним и т. д. Это и служит первой проверкой правильности схемы.

Между частичными шагами и шагом по коллектору существует следующая зависимость: для волновой обмотки

$$y_1 + y_2 = y_к$$

для петлевой обмотки

$$y_1 - y_2 = y_к$$

**Пример.** Рассмотрим составление таблицы для простой волновой обмотки со следующими данными:

$$z = 27;\ 2p = 4;\ s = 3.$$

Из этих данных можно установить, что число коллекторных пластин в такой обмотке должно быть

$$к = z \cdot s = 27 \times 3 = 81.$$

Шаг по коллектору $y_к = \frac{81-1}{2} = 40.$

Шаг по пазам $y_z = \frac{27}{4} = 6\frac{3}{4}$ (принимаем равным 7)

Первый частичный шаг

$$y_1 = 7 \times 3 = 21.$$

Второй частичный шаг

$$y_2 = 40 - 21 = 19.$$

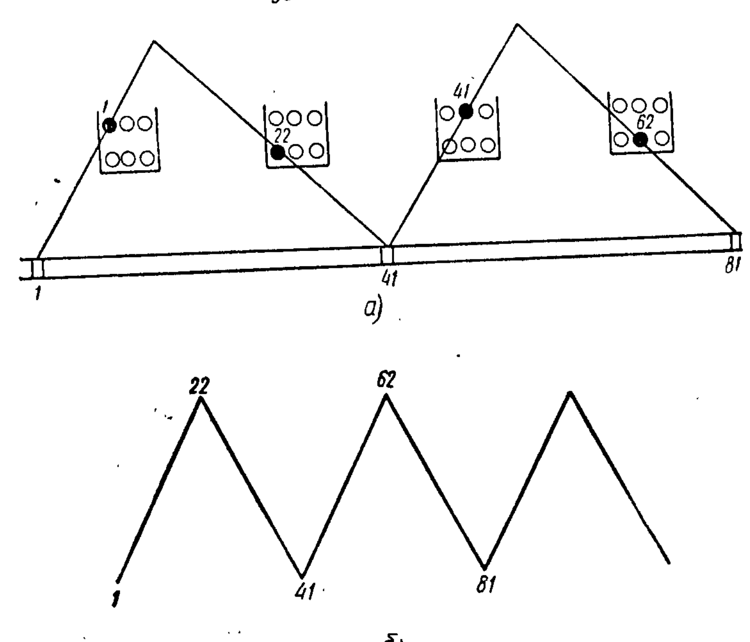



Рис. 98. Эскизы к расчету схемы обмотки:
*а* — схематическое изображение обмотки, *б* — табличное изображение обмотки

Теперь у нас есть все данные для составления таблицы. Для наглядности будем параллельно с вычислением таблицы рисовать схематическое изображение обмотки (рис. 98, *а*). Так как катушка имеет три секционные стороны, то в каждом пазу будет



шесть секционных сторон (три верхних и три нижних). Они изображаются в пазах шестью кружочками, расположенными в два слоя. Ниже пазов проведем две черты и между ними вертикальными черточками будем обозначать коллекторные пластины.

Начнем расчет схемы и составление таблицы, начиная с провода *1*, который лежит в верхнем слое первого паза крайним слева. Соединим его с коллекторной пластиной *1*. Теперь надо провести соединение этого провода с другим проводом обмотки со стороны, противоположной коллектору. Для этого надо к номеру провода прибавить первый частичный шаг. Получим 1+21=22, т. е. провод *1* надо соединить с проводом *22*. Но мы еще не знаем, в каком пазу лежит этот провод и какое место он в нем занимает. Для ответа на этот вопрос пронумеруем провода первого паза цифрами 1, 2, 3. Теперь нетрудно догадаться, где будет расположен провод *22*. Так как в пазу находятся три секционные стороны в каждом слое, то полученное число 22 надо разделить на 3. Получим 7 и 1 в остатке. Полученный остаток показывает, что провод *22* лежит первым с левого края паза. Частное от деления 7 показывает шаг по пазам, т. е. то, что этот провод будет лежать в 1+7=8-м пазу. И если обмотка двухслойная, то провод должен лежать в нижнем слое паза.

Теперь посмотрим, к какой коллекторной пластине он должен быть присоединен. Для этого к пластине *1* надо прибавить шаг по коллектору. Получим 1+40=41, т. е. провод присоединяется к 41-й коллекторной пластине.

Теперь надо узнать, с каким проводом должен быть соединен провод *22*. Для этого к номеру провода прибавим второй частичный шаг и получим 22+19=41. Разделив 41 на 3, узнаем, что провод лежит в 1+13=14-м пазу и занимает второе место от края в верхнем углу.

Здесь мы видим, что провод *22*, лежащий в пазу *8* слева, соединяется с проводом *41*, лежащим в середине 14-го паза. Это является вполне возможным, так как провода *22* и *41* относятся к разным катушкам.

К номеру провода *41* снова прибавим первый частичный шаг и получим 41+21=62. Разделив 62 на 3, получим 20 и 2 в остатке. Это значит, что провод *62* лежит в 21-м пазу и занимает второе место в нижнем ряду, т. е. расположен в пазу симметрично с проводом *41*. Чтобы узнать, с какой коллекторной пластиной он должен быть соединен, прибавим к номеру пластины *41* шаг по коллектору. Получим 41+40=81, т. е. мы пришли к коллекторной пластине, которая на коллекторе расположена рядом с пластиной *1* слева от нее. Это и требуется для простой левой волновой обмотки. Чтобы закончить один обход схемы, прибавим к проводу *62* второй частичный шаг и получим 62+19=81. Согласно тем же рассуждениям этот провод занимает третье место слева в верхнем ряду 27-го паза, который на якоре расположен рядом с пазом *1*.

Первый обход якоря показал, что шаги обмотки выбраны правильно. И если будем продолжать обходы якоря, то займем провода и коллекторные пластины, лежащие рядом с проводами и пластинами первого обхода.

Если требуется удостовериться в том, что, обойдя всю обмотку, мы снова придем к проводу *1*, можно рассчитать и построить упрощенную схему обмотки без изображения пазов и коллекторных пластин. Для этого надо к проводу *1* прибавить первый частичный шаг, к полученному номеру — второй частичный шаг, затем снова первый частичный шаг и т. д. Такую таблицу можно изобразить в виде зигзагообразной линии, показанной на рис. 98, *б*. После обхода всех проводов мы должны обязательно снова прийти к пластине *1*.

Аналогичную схему можно построить и для петлевой обмотки.

## СИММЕТРИЯ ОБМОТОК

Якорная обмотка должна быть симметричной. Это значит, что при всех положениях якоря относительно полюсов в параллельных ветвях обмотки должны наводиться одинаковые электродвижущие силы и сопротивления всех параллельных ветвей обмотки должны быть одинаковыми. Для обеспечения электрической симметрии обмотки она должна удовлетворять следующим условиям:

1. Так как обмотка является двухслойной, то провода каждого паза делятся на две равные части, лежащие в верхнем и нижнем слоях. Отсюда вытекает первое условие: *число секционных сторон в пазу должно быть четное*. Это условие не выполняется только для волновых обмоток с мертвыми проводами.

2. Всякая многополюсная обмотка может быть представлена состоящей из нескольких двухполюсных обмоток, причем число их равно числу пар параллельных ветвей обмотки. Поэтому *число коллекторных пластин должно делиться без остатка на число пар параллельных ветвей обмотки.*

3. По этим же соображениям *число пазов якоря должно делиться без остатка на число пар параллельных ветвей.*

4. Чтобы секциям одной пары параллельных ветвей соответствовали секции в других параллельных ветвях, находящихся в таких же магнитных условиях, необходимо, чтобы *число полюсов делилось без остатка на число пар параллельных ветвей.*

Посмотрим, какие требования предъявляют с учетом этих условий для выполнения различных обмоток.

Для простой петлевой обмотки число пар параллельных ветвей равно числу пар полюсов. Поэтому четвертое условие для нее всегда выполняется. Условия второе и третье для этой обмотки могут быть выражены и иначе, если учесть, что число пар параллельных ветвей равно числу пар полюсов. Тогда для петлевой обмотки второе и третье условие можно выразить так: число



коллекторных пластин и число пазов должны делиться без остатка на число пар полюсов. Если эти два условия выполнены, то обмотка будет симметрична.

В сложно-петлевых обмотках четвертое условие может быть выполнено только в том случае, если $a=2p$, а это будет в обмотке, состоящей из двух простых петлевых обмоток. Второе и третье условие выполняются только при четном числе коллекторных пластин. Однако в практике применяются сложно-петлевые обмотки с нечетным числом коллекторных пластин, которые хотя и являются несимметричными, но работают вполне удовлетворительно.

В простой волновой обмотке число пар параллельных ветвей равно 1 (две параллельные ветви). Поэтому она всегда удовлетворяет второму, третьему и четвертому условиям. Несимметричными являются только волновые обмотки с мертвыми секциями, тем не менее они находят применение в практике.

Для сложно-волновой обмотки, состоящей из двух простых обмоток, должны выполняться все четыре условия симметрии.

## РАЗМЕТКА ЯКОРЯ ПОД ОБМОТКУ

Кроме условий электрической симметрии обмотки, существует также геометрическая симметрия. Обмотка может быть правильно рассчитана и удовлетворять всем четырем условиям электрической симметрии. Но выводные концы обмотки, подходящие к коллектору, сдвинуты в одну сторону. Это означает, что щетки будут стоять не на тех пластинах, которые соединены с проводами, находящимися в геометрических нейтралях, и будут искрить. Если такой сдвиг обмотки будет у двигателя, то он будет давать разные числа оборотов при вращении якоря по часовой стрелке и против часовой стрелки. Таким образом, условие геометрической симметрии обмотки заключается в том, чтобы от какой-то произвольно выбранной осевой линии стороны секции, лежащие в пазах, и выводные концы секций располагались симметрично.

Геометрическая симметрия указывается на практических схемах обмотки якоря. Разметкой якоря под обмотку называется нанесение практической схемы обмотки на якорь в виде условных знаков.

Разметка якоря обычно выделяется в самостоятельную операцию и поручается наиболее опытным обмотчикам. Она начинается с определения положения оси симметрии на якоре. Если шаг по пазам выражается нечетным числом, например 9 (стороны катушки кладутся в 1 и 10-й пазы), то ось симметрии на якоре проходит через середину зубца. Если же шаг обмотки по пазам выражается четным числом, например 10 (стороны катушки кладутся в 1 и 11-й пазы), то ось симметрии проходит через середину паза. Положение оси симметрии на коллекторе определяется

шагом обмотки по коллектору. При нечетном шаге, например 37 (секция якоря соединяется с пластинами 1 и 38), ось симметрии на коллекторе проходит через изоляцию между пластинами (миканит). При четном шаге обмотки по коллектору ось симметрии проходит через середину коллекторной пластины.

Таким образом, зная шаг обмотки по пазам и по коллектору, легко определить положение оси симметрии.

На рис. 99 показаны все четыре возможных случая положения оси симметрии в зависимости от того, являются ли шаги по коллектору $y_к$ и по якорю $y_z$ четными или нечетными. Под каждой

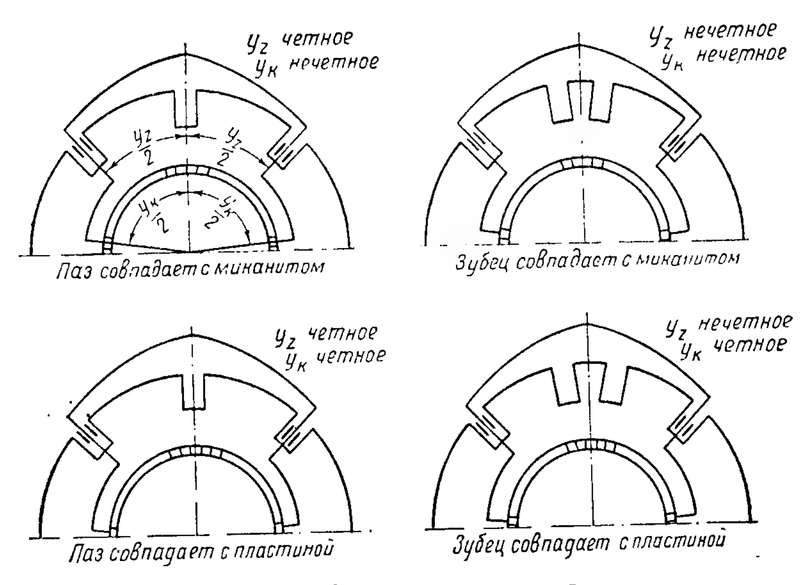



Рис. 99. Схемы разметки якоря

схемой написано, где должна проходить ось симметрии. Определив требуемое положение оси симметрии, обмотчик должен найти ее на якоре. Например, если на практической схеме (см. рис. 97) ось симметрии должна проходить через середину паза и середину коллекторной пластины, то надо найти на якоре такую коллекторную пластину, середина которой совпадает с серединой паза.

Простейшим приспособлением для нахождения оси симметрии служит нитка, которую обмотчик натягивает вдоль якоря. Прикладывая ее поочередно к серединам пазов, он смотрит, какой из них совпадает более точно с серединой какой-либо коллекторной пластины. Отметив данный паз и совпадающую с ним коллекторную пластину, обмотчик отсчитывает вправо и влево от них половину шага по пазам и шага по коллектору и находит 1-й и 9-й пазы и 1-ю и 47-ю коллекторные пластины, в которые должны вкладываться стороны первой катушки и выводы средней секции.



Эти пазы отмечают крестообразными зарубками на соседних зубцах, а коллекторные пластины накернивают с торца.

Теперь надо определить, какие именно выводы катушки должны быть вложены в 1-ю и 47-ю коллекторные пластины. Если число секционных сторон нечетное (на рис. 97 их три), то в отмеченные коллекторные пластины для обеспечения симметрии должны быть вложены средние концы катушек. Если бы число секционных сторон было четное, то в отмеченные коллекторные пластины должны бы вкладываться выводы, лежащие слева от середины паза. В волновых обмотках иногда встречаются мертвые провода. При наличии в обмотке мертвых проводов в отмеченные коллекторные пластины вкладываются выводы, расположенные справа от середины паза. Этим частично исправляется несимметрия, вносимая в обмотку мертвыми проводами, один из которых лежит в последнем пазу якоря.

Во избежание ошибки при вкладывании концов обмотки в пластины коллектора и для облегчения работы обмотчика иногда при разметке намечают керном все коллекторные пластины, занимаемые выводными концами катушки. Например, если в пазу лежат три элементарные секции (см. рис. 97), то обозначаются следующие номера коллекторных пластин: 93,1 и 2 на одной стороне коллектора и 46,47 и 48 на другой стороне коллектора. Этим устраняется возможность ошибки при укладке первой катушки

## ПОДГОТОВКА ЯКОРЯ К ОБМОТКЕ

Процесс укладки катушек в пазы и присоединение выводных концов к коллекторным пластинам называется *обмоткой якоря*.

Прежде чем приступить к укладке катушек, необходимо ознакомиться с чертежом и схемой якорной обмотки, чтобы правильно уложить катушки в пазы и присоединить выводные концы к коллектору. Укладке катушек в пазы предшествуют следующие подготовительные операции: опиливание пазов, пропитка сердечника якоря, изолировка обмоткодержателя, изолировка пазов и разметка якоря.

Опиливание пазов производится для снятия заусенцев на стенках пазов. При сборке листов на вал неизбежно получаются некоторые сдвиги между ними, поэтому после спрессования пакета стенки пазов получаются шероховатыми, с выступающими внутрь паза острыми заусенцами, которые легко могут прорезать изоляцию обмотки. Опиливание пазов является очень утомительной и трудоемкой операцией. Вследствие неизбежного прогиба тонких напильников ширина паза получается неравномерной, бóльшая по концам и меньшая в середине сердечника. Напильники быстро тупятся и производят замыкание листов за счет приглаживания заусенцев. Поэтому опиливание вручную заменяется механической обработкой на специальных протяжных станках. Такой станок и работа на нем показан на рис. 8.

## ИЗОЛИРОВКА ОБМОТКОДЕРЖАТЕЛЕЙ

Лобовые части обмотки якоря лежат на деталях, которые называются *обмоткодержателями*. Чтобы предохранить лобовые части обмотки от замыкания на корпус, обмоткодержатели должны быть изолированы. Материалы для изолировки обмоткодержателей выбирают в соответствии с классом изоляции самих катушек. Обычно в чертежах не содержится исчерпывающих данных по изолировке обмоткодержателей, а указывается только характер применяемых материалов и общая толщина изоляции. Поэтому определение размеров заготовок изоляционных мате-

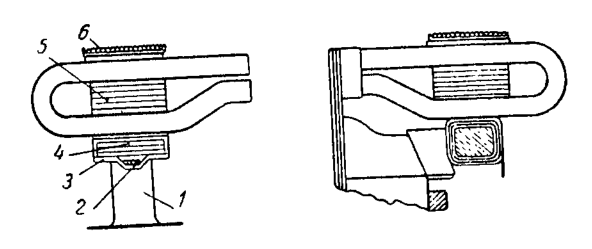



Рис. 100. Изоляция обмоткодержателей открытого типа

риалов и числа слоев для получения требуемой толщины, а также крепление отдельных слоев изоляции обмотчику приходится делать самостоятельно.

Изоляция обмоткодержателей открытого типа, которые применяются в электрических машинах общего применения, показана на рис. 100. Изолировка обмоткодержателей со стороны якоря, противоположной коллектору, производится следующим образом. Наружную поверхность обода *1* покрывают шеллачным или бакелитовым лаком, после чего на нее наматывают по всей окружности полосу хлопчатобумажной ткани *3* шириной несколько больше тройной ширины обода. Эту ткань накладывают так, чтобы она свешивалась с обеих сторон обода на одинаковую длину. Полосу ткани укрепляют шпагатом *2*, который наматывают в несколько витков в канавке обода. Полосу ткани, лежащую на ободе, промазывают шеллачным или бакелитовым лаком. Поверх шпагата и ткани накладывают заранее подготовленные полосы электрокартона *4*, которые шире обода обмоткодержателя на 10—15 *мм*. Для удержания слоев электрокартона служит лента, которую наматывают непрерывно в несколько слоев, а под нее в процессе намотки подкладывают полосы электрокартона, смазанные лаком.

Таким образом, все слои электрокартона плотно облегают обод обмоткодержателя и после засыхания лака превращаются в жесткий пакет.



После того как все слои электрокартона уложены, края полосы ткани разрезают в нескольких местах и завертывают на верхний слой электрокартона, предварительно смазанный лаком. При этом тщательно выравнивают, чтобы на ее поверхности не было пузырей и крупных морщин, а сверху по всей ширине обода затягивают киперной лентой в один слой. При изолировке обмоткодержателей толщина изоляции должна быть подобрана так, чтобы лобовые части обмотки опирались на изоляцию обмоткодержателей. Если толщина изоляции будет меньше, чем требуется, то лобовые части по выходе из паза будут прогибаться вниз давлением бандажа, что может повести к разрыву изоляционной гильзы и пробиванию изоляции на корпус. Если же изоляция об-

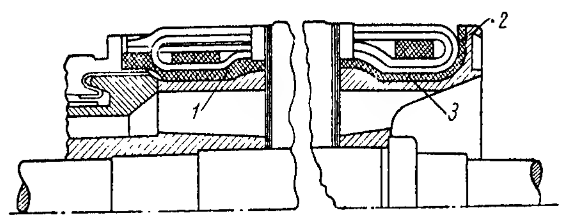



Рис. 101. Изоляция обмоткодержателей закрытого типа

моткодержателей будет иметь излишнюю толщину, то бандаж на лобовых частях может выйти за пределы окружности якоря.

На рис. 101 дан пример изоляции обмоткодержателей закрытого типа, которые применяются в специальных машинах и защищают лобовые части обмотки. Изоляция обмоткодержателя со стороны коллектора производится следующим образом. Нарезанные заранее полосы изоляционного материала *1* требуемой ширины обвертывают вокруг обмоткодержателя и затягивают киперной лентой. Изолирование обмоткодержателя со стороны, противоположной коллектору, имеет некоторые особенности. Это объясняется тем, что поверхность обмоткодержателя состоит из торцовой и цилиндрической частей. Торцовую часть обмоткодержателя *2* изолируют при помощи полос электрокартона с надрезанными краями. Их свертывают в кольцо, причем надрезанные части переходят на цилиндрическую поверхность *3*. Таких полос берут несколько и укладывают их так, чтобы стыки в отдельных слоях перекрывали друг друга. Таким образом, на поверхности обмоткодержателя образуется сплошной слой изоляции, толщина которой должна быть такой, чтобы лобовые части обмотки плотно прилегали к ней. В местах выхода катушек из пазов изоляция должна быть намотана вровень с основаниями пазов.

Изолировка пазов состоит из вкладывания в них U-образных скобочек из электрокартона, которые должны на 10—15 *мм* с каждой стороны выступать из пазов.

## УКЛАДКА КАТУШЕК В ПАЗЫ

Процесс укладки катушек в пазы производится в такой последовательности. Обмотчик берет первую катушку, натирает ее боковые стороны парафином и вкладывает нижнюю сторону катушки в паз, затем ударами молотка по фибровой прокладке загоняет сторону катушки на дно паза. Верхняя сторона катушки остается невложенной в паз, пока нижняя половина паза еще не заполнена. При укладке катушек в пазы необходимо следить за тем, чтобы расстояние между торцами якоря и перегибами катушки в местах перехода пазовых частей в лобовые было одинаковым с обеих сторон якоря. Катушка должна входить в паз туго, так как иначе в процессе работы машины изоляция катушки будет разрушаться вследствие перемещения катушек в пазах. Однако слишком тугое вхождение катушки в паз может вызвать разрушение изоляции в процессе укладки в пазы. Опытный обмотчик определяет правильное соотношение между толщиной катушки и шириной паза по силе удара, требуемого для забивания катушек в пазы, и регулирует его подбором толщины пазовой гильзы.

После того как первая катушка уложена на дно 9-го паза (см. рис. 97), обмотчик берет вторую катушку и загоняет ее нижнюю сторону на дно 10-го паза.

Также укладываются нижние стороны остальных семи катушек, составляющих шаг обмотки по пазам, в 11, 12, 13, 14, 15, 16 и 17-й пазы. Одновременно с укладкой катушек вставляют полоски *5* (см. рис. 100) из изоляционного материала, указанного на чертеже, между слоями лобовых частей для предохранения от замыкания между ними под действием натяжения проволочных бандажей *6*.

Верхняя сторона 9-й катушки, вложенной в 17-й паз, согласно шагу обмотки по пазам, должна быть вложена в 9-й паз, нижняя часть которого уже заполнена первой катушкой. Поэтому 9-я катушка может быть вложена в пазы окончательно обеими сторонами. Для этого обмотчик вводит в 9-й паз фибровую пластину и натягивает ею, как рычагом, верхнюю сторону 9-й катушки и затем ударами молотка через пластину осаживает верхнюю сторону катушки в 9-й паз. На этом заканчивается часть процесса обмотки, которая называется укладкой первого шага, т. е. укладкой числа катушек, равного числу пазов, охватываемых катушкой.

При укладке шага обмотки проверяют правильность размеров катушек в отношении укладки лобовых частей. Если верхняя сторона катушки слишком туго натягивается в 9-й паз, и при этом выступающие из паза прямолинейные вылеты пазовых частей искривляются, то катушки отправляют в перегибку. Обычно для каждого нового якоря сначала изготовляют пробные катушки в количестве, равном шагу обмотки по пазам, и только после



укладки их в пазы продолжают изготовлять остальные катушки или производят необходимые переделки шаблона.

В процессе укладки катушек лобовые части их плотно подгибают одну к другой, чтобы обеспечить место для лобовых частей последних катушек. После того как все катушки вложены в пазы, обмотчик при помощи фибровой подбойки и молотка распределяет лобовые части по окружности якоря так, чтобы зазоры между ними были одинаковыми. Неравномерная плотность укладки лобовых частей поведет к тому, что одна половина окружности якоря, где лобовые части лежат более плотно, будет тяжелее другой, и такой якорь потребует больших балансировочных грузов.

В процессе обмотки якоря изолированные катушки подвергаются сильным ударам. Искусство обмотчика заключается в том, чтобы соразмерить силу и количество ударов с прочностью изоляции катушек, что достигается только навыком. У опытного обмотчика обмотка получается хорошей, хотя он прибегает к сильным ударам молотка, и, наоборот, начинающий обмотчик боится применять сильные удары и старается обращаться с катушками более осторожно, но может повредить изоляцию вследствие слишком большого количества ударов, неправильной установки подбойки и многократного перегибания катушек.

## СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТКИ С КОЛЛЕКТОРОМ

Одновременно с укладкой катушек в пазы якоря производят вкладывание нижнего слоя выводных концов катушек в коллекторные пластины. При этом выводные концы переплетают изоляционной лентой. Выводные концы первой катушки вкладывают в коллекторные пластины, отмеченные при разметке якоря под обмотку. Следующие выводные концы вкладывают подряд. Необходимо лишь следить за тем, чтобы выводные концы не перехлестывались, а присоединялись к коллекторным пластинам в той же последовательности, в какой они выходят из пазов якоря.

Если катушка имеет много выводных концов и намотана из тонкой проволоки, то на выводные концы обеих сторон катушки надевают разноцветные чулки. Тогда последовательность вкладывания выводных концов в пластины коллектора определяют чередованием цветов. При вкладывании верхнего слоя выводных концов чередование цветов должно быть в такой же последовательности, как и при укладке нижнего слоя.

Необходимо обратить внимание на то, что если будет перепутана последовательность нижнего слоя выводных концов, т. е. часть проводов будет перехлестнута, это повлечет за собой лишь незначительную несимметрию напряжения между коллекторными пластинами при условии, что верхний слой будет вложен в такой же последовательности, как и нижний. Если же последовательность укладки верхнего слоя не соответствует последователь-

ности укладки нижнего слоя, то такая обмотка является полным браком. Поэтому при вкладывании верхнего слоя выводных концов катушек в коллекторные пластины обмотчик обязательно должен проверять контрольной лампой соответствие вкладываемого провода с проводом нижнего слоя.

Эту проверку производят следующим образом. Предположим, что все катушки вложены в пазы, а нижний слой выводных концов вложен в коллекторные пластины. Обмотчик приступает к вкладыванию в коллекторные пластины верхнего слоя выводных концов, начиная с 1-го паза (см. рис. 97). Для проверки надо приложить один провод контрольной лампы к коллекторной пластине 48, отсчитать от нее 46 пластин в соответствии с шагом обмотки по коллектору и прикоснуться вторым проводом, подведенным от сети через контрольную лампу поочередно к всем трем концам выводной катушки, выходящим из 1-го паза. Контрольная лампа зажжется только при соединении с одним из выводных концов катушки, так как он один является соединенным с коллекторной пластиной *48* через виток обмотки. Найденный таким образом выводной конец надо вложить в коллекторную пластину *2*. Затем обмотчик переставляет первый провод контрольной лампы с 48-й на 47-ю коллекторную пластину, а вторым проводом ищет из оставшихся двух выводных концов катушки, выходящих из первого паза, такой, при котором лампа зажжется. Этот выводной конец надо вложить в коллекторную пластину *1*. Остальные выводные концы находят и вкладывают таким же образом. Если искомый выводной конец находится первым, т. е. контрольная лампа зажигается при соединении провода от сети с первым же наугад выбранным выводным концом катушки, то все же для большей уверенности рекомендуется коснуться и остальных выводных концов и убедиться, что лампа при этом не зажигается. Эта дополнительная проверка необходима для избежания следующих ошибок. Допустим, что провод от контрольной лампы сдвинулся и замыкается не с одной, а с двумя соседними пластинами, например 47 и 48-й. Тогда при нахождении первого выводного конца для укладки во вторую коллекторную пластину обмотчик должен принять за нужный ему выводной конец соседний с ним, так как контрольная лампа будет гореть при соединении с обоими выводными концами.

Отсюда следует сделать вывод, что проверка выводных концов верхнего и нижнего слоя при соединении их с коллектором должна быть выполнена очень тщательно. Ошибка в порядке укладки проводов потребует больше времени для ее отыскания и исправления, чем своевременная проверка концов обмотки контрольной лампой.

Если при укладке первого провода верхнего слоя обмотчик ошибается в шаге по коллектору, то ошибка будет замечена только после окончания обмотки, и все выводные концы придется переставлять в другие коллекторные пластины. Если же это



обнаружится после того, как припуск выводных концов катушки будет обрублен и для перестановки концов не хватит их длины, то все катушки обмотки и вся работа по их укладке в пазы пойдут в брак.

Вот почему опытный обмотчик всегда тщательно проверяет укладку первых выводных концов в коллекторные пластины. У начинающих обмотчиков проверку эту делает мастер или бригадир.

### ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ ОБМОТКИ ЯКОРЕЙ

Изменения, которые внесли передовики-обмотчики в технологические процессы и организацию производства, направлены на резкое сокращение дополнительных операций и на изменение их содержания. Так, на обмотке якорей сущность этих изменений сводится к следующему:

1) систематизация и хранение различного рода образцов и шаблонов, получаемых в процессе обмотки машин для последующего использования их при повторном появлении аналогичных машин на производстве, благодаря чему устраняется повторная подгонка и изготовление шаблонов, а следовательно, и излишняя трата рабочего времени;

2) выполнение всех испытаний обмоток на испытательной станции;

3) освобождение обмотчика от затраты времени на получение и доставку к рабочему месту деталей и материалов; обмотчик лишь принимает доставленный подсобным рабочим материал;

4) выделение специальности резчика изоляции, выполняющего заготовку по образцу, указанному обмотчиком или мастером;

5) выполнение решений производственных и специальных совещаний по вопросу ликвидации организационно-технических и конструктивных неполадок;

6) обмен опытом с работниками заготовительных мастерских в целях улучшения качества их продукции, применяемой при обмотке якорей.

## *Глава XIV*

## ПАЯНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ

### УСТРОЙСТВО КОЛЛЕКТОРА

Коллектор представляет собой одну из наиболее сложных и ответственных частей машины постоянного тока. Он состоит из большого числа медных пластин сложной формы с миканитовыми прокладками между ними.

Сложность конструкции коллектора объясняется тем, что в процессе работы коллектор нагревается и его пластины расширяются. Одновременно на них действуют большие центробежные силы, стремящиеся вырвать пластины из места их закрепления. Между тем к коллектору предъявляются очень строгие требования, согласно которым биение коллектора в собранной машине, измеренное индикатором, не должно быть больше 0,04 *мм* для коллекторов крупных машин и 0,03 *мм* для коллекторов средних машин. Такая высокая точность требуется для работы щеток без искрения.

Устройство коллектора показано на рис. 102, *а*. Коллекторные пластины *4* клинообразного сечения собраны в кольцо вместе с миканитовыми прокладками *8* и спрессованы. В пластинах проточены выемки, в которые вставлены миканитовые манжеты *3*. Часть пластины между выемками носит название «ласточкин хвост». Вся эта система зажимается между двумя стальными конусами *1* и *6*, надетыми на втулку *7* и затянутыми гайкой *2*. Стопорный винт *9* служит для предохранения гайки от отвертывания. Для защиты от пробоя между пластинами и втулкой служит миканитовый цилиндр *5*.

Для коллекторов применяется твердотянутая полосовая медь, которая изготовляется посредством волочения на кабельных заводах. Медь поставляется в виде длинных полос, которые режут или штампуют на отдельные пластины. Прокладки между пластинами изготовляются из коллекторного миканита, обладающего большой твердостью. Для получения точного размера по толщине листы коллекторного миканита после прессовки фрезеруют. Миканитовые манжеты прессуют из формовочного миканита в стальных пресс-формах и запекают в печи при температуре 180°. Коллекторные пластины с миканитовыми прокладками запрессовывают в стальное кольцо, в котором производится проточка «ласточкина хвоста». Затем пластины зажимают между стальными конусами, снимают прессующее кольцо и предварительно обрабатывают наружную поверхность коллектора. Окончательная обработка цилиндрической поверхности коллектора производится на якоре после укладки катушек и пропитки якоря.

В машинах малой и средней мощности провода обмотки якоря вкладывают в прорези *10*, профрезерованные в выступах пластин коллектора, называемых *петушками*. Соединение концов обмотки якоря с коллектором производится при помощи паяния. Это соединение является очень ответственным процессом в машинах постоянного тока. Плохо пропаянные соединения обладают повышенным электрическим сопротивлением, поэтому при прохождении тока сильно нагреваются. Иногда это нагревание достигает такой степени, что соединения концов обмотки с коллекторными пластинами распаиваются при работе машины, и якори выходят из строя. Поэтому в ответственных машинах не удовлетворяются наружным осмотром качества паяния, а проверяют его по методу сопротивления. Большие щели между выводными концами обмотки в прорезях коллекторных пластин должны быть перед паянием забиты медными клинышками, которые нарезают из обрезков обмоточной меди.



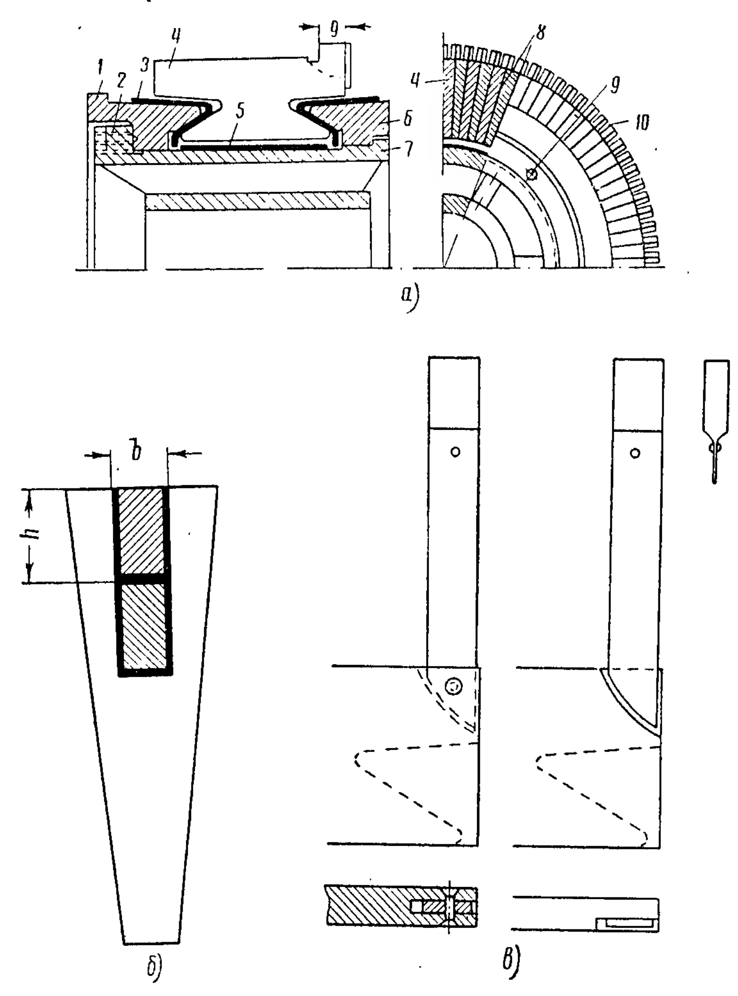



Рис. 102. Коллектор:
*а* — конструкция коллектора, *б* — соединение проводов обмотки с коллектором, *в* — ленточные петушки

Причиной плохого паяния может служить недостаточная очистка подготовленных для паяния мест от грязи или образование слоя окиси. Поэтому необходимо тщательно зачищать все потемневшие места при помощи напильника или стеклянной бумаги. Для обеспечения хорошего качества паяния концы обмотки и прорези коллекторных пластин должны быть предварительно об-

лужены. Лужение производится в ваннах с расплавленным припоем, куда погружают пластины до сборки их в кольцо и концы катушек якорной обмотки.

В связи с применением изоляции с высокой нагревостойкостью потребовались более тугоплавкие соединения концов обмотки с коллектором. Это достигается электропаянием твердыми припоями или сваркой.

Иногда причиной распаивания соединений обмотки с коллектором является недостаточная площадь контактной поверхности в месте соединения. Для того чтобы места паяния оловянисто-свинцовыми припоями не нагревались при работе, плотность тока в контакте должна быть не более 0,5 *а* на 1 *мм*² поверхности контакта. Плотность тока Δ проверяется по формуле

$$\Delta = \frac{I}{2a \times 2 \times h \times b \times g} \ a/мм^2,$$

где $I$ — ток якоря в *а*;

$2a$ — число параллельных ветвей обмотки якоря;

$b$ и $h$ — размеры сторон прямоугольного провода в *мм* (рис. 102, *б*);

$g$ — ширина петушка коллектора в *мм* (рис. 102, *а*).

**Пример.** Проверить плотность тока в контакте между проводами обмотки якоря и коллекторной пластиной в машине со следующими данными: $I = 100$ *а*, обмотка якоря волновая ($2a = 2$), $b = 2{,}1$ *мм*, $h = 5{,}1$ *мм*, $g = 5$ *мм*. Плотность тока $\Delta = \frac{100}{2 \cdot 2 \cdot 5{,}1 \cdot 2{,}1 \cdot 5} = 0{,}47$ *а/мм*². Такая плотность тока является допустимой. При большей плотности надо было бы увеличить ширину петушка коллектора.

В крупных машинах провода обмотки якоря расположены высоко над поверхностью коллектора, и для соединения их между собой в пластины впаивают тонкие медные полоски, которые тоже называют петушками. Ленточный петушок (рис. 102, *в*) представляет собой медную полоску, у которой вверху сделан хомутик, по размерам соответствующий размерам двух проводов обмотки, которые должны быть вставлены в него. Петушки соединяют с пластинами коллектора до сборки их в кольцо. Это соединение должно быть очень крепким, так как если петушок оторвется от пластины, то соединить их снова можно только после разборки коллектора. Для соединения петушков с пластинами применяют или приклепывание с последующим пропаиванием мягкими припоями или паяние твердыми припоями. Для соединения с петушком в пластине коллектора фрезеруют прорезь. При паянии твердыми припоями вместо прорези в середине пластины фрезеруют выемку на боковой поверхности пластины, как показано на рис. 102, *в*, справа.



## ПАЯНИЕ ОБМОТКИ С КОЛЛЕКТОРОМ ПАЯЛЬНИКАМИ

Существуют два способа паяния концов обмотки с пластинами коллектора: паяльником и в ванне.

Если коллекторные пластины имеют ленточные петушки, то паяние концов обмотки оловянисто-свинцовым припоем производится паяльником. Для этой цели применяют паяльники с источником тепла в головке, так как отвод тепла по проводам обмотки очень велик и паяльник с нагреваемой на огне головкой будет очень быстро остывать.

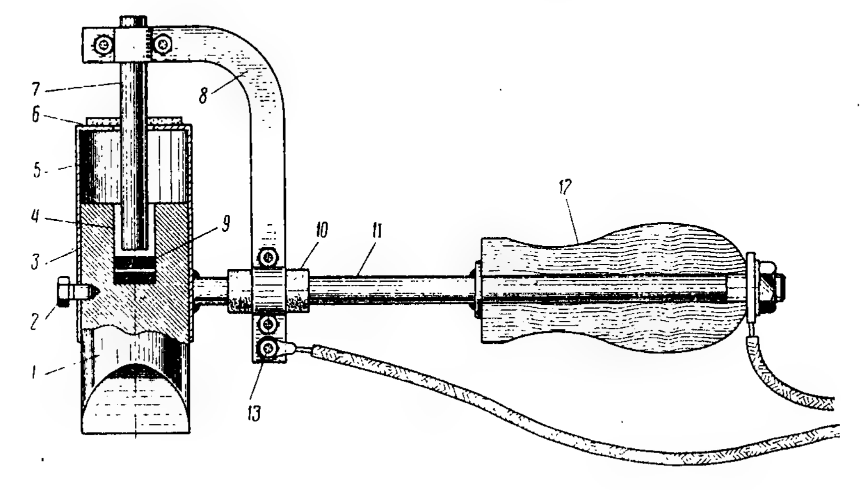



Рис. 103. Электродуговой паяльник

В машинах с нагревостойкой изоляцией паяние обмотки с ленточными петушками производят твердыми припоями при помощи щипцов с угольными электродами.

Электрические паяльники с нагревательными спиралями не обеспечивают достаточного количества тепла, поэтому для паяния обмотки с коллектором часто применяют дуговые паяльники.

На рис. 103 изображен электродуговой паяльник. Массивный медный стержень *1* диаметром 40—50 *мм* вставлен в обойму *5*, согнутую из листовой стали, и застопорен винтом *2*. Для уменьшения теплопередачи от стержня к обойме иногда между ними кладут прокладку из листового асбеста *3*. Контакт между стержнем и обоймой осуществляется винтом *2*. К обойме приварен пруток *11* диаметром 8—12 *мм* с деревянной рукояткой *12* на конце.

Угольный электрод *7* диаметром 8—12 *мм* закреплен в держателе, представляющем собой два угольника *8* из листовой стали, которые вверху и внизу выгнуты в виде хомутиков и стянуты винтами *13*. В верхний хомутик зажат угольный электрод *7*,

а нижним хомутиком держатель охватывает пруток *11*, будучи изолирован от него асбестом или жаростойким миканитом *10*.

В торце стержня просверлено отверстие *4* глубиной 20—30 *мм* и диаметром на 5—6 *мм* больше диаметра угольного электрода. Между угольным электродом и стенками отверстия есть зазор. На дне отверстия забит обломок угольного электрода *9*. Таким образом, дуга горит между угольными электродами, имеет более устойчивый характер и не оплавляет медный стержень. Для защиты глаз от лучей дуги обойма закрыта крышкой *6* из листового асбеста.

Питание паяльника осуществляется от понижающего трансформатора напряжением 30—50 *в*. Ток подводится к держателю электрода *8* и к стержню *11* при помощи проводов с резиновой изоляцией. Чтобы снять напряжение между стержнем паяльника и предметом паяния, провод, подводящий ток к стержню, должен быть надежно заземлен. Для удобства пользования паяльником включение первичной обмотки трансформатора производят контактором, кнопка от которого находится вблизи от паяльщика. Зажигание дуги происходит за счет мостиков между стержнем и электродом, образующихся за счет остатков горения.

Электродуговые паяльники работают безотказно и обеспечивают быстрое выполнение процесса паяния.

Небольшие коллекторы, в которых провода припаивают непосредственно к пластинам коллектора, также можно паять при помощи паяльника. При больших размерах коллектора вследствие большой теплоемкости пластин их трудно нагреть до температуры плавления припоя при помощи паяльника. Поэтому коллектор большого диаметра перед паянием необходимо прогревать, для чего пользуются паяльной лампой. Якорь ставят в наклонное положение коллектором вниз, чтобы при паянии припой не мог стекать в обмотку. Пламя паяльной лампы направляют на цилиндрическую поверхность коллектора и путем поворачивания якоря прогревают все пластины до температуры плавления припоя.

После того как коллектор прогрелся до требуемой температуры, берут палочку оловянисто-свинцового припоя и начинают пропаивать соединения концов обмотки с петушками коллектора. В качестве флюса применяют раствор канифоли в бензине или спирте. Для стекания излишков припоя под коллектор ставят поддон. По мере пропаивания отдельных пластин коллектора якорь медленно поворачивают в направлении от паяльной лампы и к месту паяния подходят нагретые пластины. После паяния пластины отдаляются от лампы при вращении якоря. После того как $^3/_4$ окружности коллектора пропаяны, лампу надо убрать, так как иначе она будет расплавлять уже спаянные соединения.

После окончания паяния и остывания коллектора выступающие концы проводов и торцы петушков коллекторных пластин обтачивают на токарном станке. Если при этом между концами проводов и прорезями в коллекторных пластинах обнаруживаются щели, в которые не прошел припой, такие места пропаивают дополнительно электродуговым паяльником.



При паянии коллектора лампой он подвергается сильным и неравномерным нагревам. Температуру нагрева определяют на глаз, и отдельные части коллектора могут быть нагреты более сильно, чем это требуется для паяния. Кроме того, на пластинах получается посинение от сильного нагрева. Чрезмерный нагрев коллектора вредно отражается на работе машины. Отожженные медные пластины теряют твердость, что ведет к уменьшению срока службы коллектора, так как он быстрее истирается щетками.

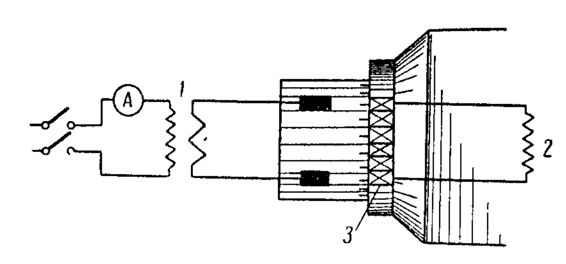


Рис. 104. Нагрев коллектора током

Как показали лабораторные испытания, уменьшение твердости меди происходит не только от чрезмерно высокой температуры, но и от времени нагревания.

Например, при нагреве до 300° коллекторная медь в течение первых 10 мин. сохраняла твердость по Бринелю 85 *кг/мм*², которую она имела в холодном состоянии. Через 20 мин. твердость меди понизилась до 70 *кг/мм*², а через 30 мин. — до 48 *кг/мм*².

Перегрев отрицательно влияет и на миканитовую изоляцию между пластинами и на коллекторные манжеты, так как происходит вытекание и даже выгорание склеивающих лаков. От этого изоляция теряет механические и электрические свойства, что снижает надежность машины в работе.

Паяние коллектора лампой применяется только обмотчиками высокой квалификации при выполнении единичных машин и в ремонтных работах. В серийном производстве машин постоянного тока, у которых концы обмотки припаивают непосредственно к коллекторным пластинам, паяние производят в паяльных ваннах.

Применяется также нагрев пластин коллектора при помощи пропускания переменного тока низкого напряжения. На рис. 104 показана схема нагрева от понижающего трансформатора *1*. Ток подводится к двум пластинам коллектора. Между петушками коллекторных пластин *3* забивают алюминиевые клинья для создания замкнутой цепи. Катушки обмотки *2* при этом не нагреваются, так как вследствие высокого индуктивного сопротивления

по ним протекает малый ток. Одновременно нагреваются две пластины коллектора.

Обмотчики завода «Электросила» для паяния в труднодоступных местах применяют тонкий угольный электрод, заточенный, как карандаш. Один вывод от обмотки понижающего трансформатора подводится к держателю электрода, а другой — к проводу спаиваемой обмотки. При касании электродом провода происходит местный нагрев за счет контактного сопротивления.

## ВАННЫ ДЛЯ ПАЯНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ

Паяние в ванне имеет следующие преимущества по сравнению с паянием при помощи лампы:

рабочее время сокращается в несколько раз;

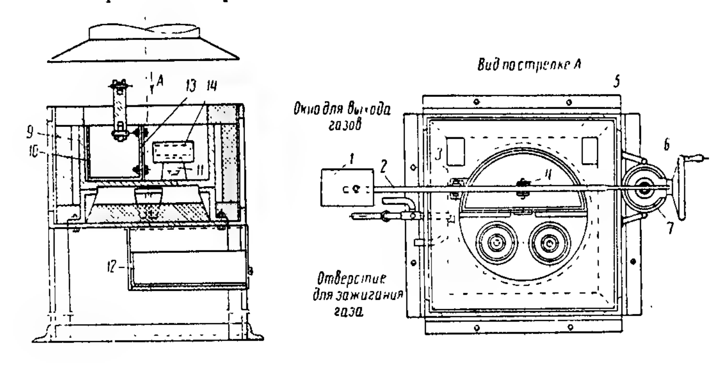



Рис. 105. Ванна для паяния малых коллекторов

достигается значительная экономия припоя, который при этом не разбрызгивается;

коллектор предохраняется от чрезмерных нагревов, так как он нагревается лишь до температуры плавления припоя;

нагрев коллектора производится равномерно в течение непродолжительного времени.

Устройство ванн зависит от размеров коллектора.

На рис. 105 показано устройство ванны для паяния коллекторов диаметром от 70 до 130 *мм*. Цилиндрический чугунный бачок *9* разделен на два отделения стенкой со сквозными отверстиями. В ванне можно производить одновременное паяние двух якорей. На дне одной части бачка отлиты две бобышки *11* с отверстиями для конца вала, на которые напрессованы чашки *14*, рассчитанные на наибольший диаметр коллектора. На чашки накладываются сменные кольца. В качестве уплотнения от проникновения припоя в чашки применяется асбестовый шнур диаметром 1,5—2 *мм*. Меняя кольца, можно паять разные коллекторы в указанном диапазоне размеров.

В другой части бачка помещен пустотелый чугунный поршень *10*, который, опускаясь в жидкий сплав, вытесняет его во вторую половину бачка. Направляющая *13* обеспечивает концентричное положение поршня при опускании с помощью рычага *2*, на конце которого имеется противовес *1*. Рычаг *2* закреплен в стойке *3* и связан с поршнем через шарнирную вилку *4*. При повороте рукоятки штурвала *6* через червячную пару *7* поршень опускается и поднимает уровень сплава над кольцом на высоту 15—20 *мм*. Ванна имеет футерованный каркас *5* и снабжена газовым подогревом. Она оборудована вытяжным конусом *8* и поддоном *12*.

Доведя сплав до требуемой температуры, устанавливают на чашку кольцо, соответствующее размеру коллектора. Петушки коллектора предварительно посыпают мелкотолченой канифолью и затем смазывают паяльной пастой. Якорь погружается в чашку ванны, опираясь асбестовым уплотнением на кольцо. Рукоятка штурвала поворачивается на 3—4 оборота, и в течение 2—3 сек. уровень сплава поднимается до места паяния. При этом происходит быстрое заполнение прорезей в петушках коллектора припоем, не требующим дополнительной зачистки.

Время выдержки составляет не более 20—30 сек., а общее время паяния якоря со всеми подготовительными работами 2—3 мин., тогда как при ручном способе на паяние коллектора требовалось 45—60 мин. На коллектор диаметром 130 *мм* расходуется всего 15 *г* припоя вместо 80 *г* при ручном паянии.

Предварительного подогрева коллектора не требуется, так как благодаря хорошей теплоотдаче через стенки чашек обеспечивается необходимая для паяния температура.

На рис. 106 показана ванна для паяния крупных коллекторов диаметром от 260 до 420 *мм*. Основой ванны служит металлический сварной корпус *6*, выполненный из листовой стали. Верхняя часть корпуса заполняется оловянисто-свинцовым припоем *1*. Припой нагревается при помощи активных сопротивлений *8*, уложенных в ящики *7*, которые выполнены в виде отдельных секторов и легко закладываются и вынимаются с наружной стороны ванны. Это сделано для облегчения их ремонта.

Уровень припоя регулируется поплавком *4*, представляющим собой чугунное кольцо, которое прикреплено планками *5* к двум штангам *9*, выходящим из червячных редукторов *10*. Они соединены через фрикционную передачу *12* с общим валом *14*, приводимым во вращение электродвигателем *11*. В зависимости от направления вращения электродвигателя штанги *9* поднимают или опускают поплавок *4*. Управление электродвигателем осуществляется двумя кнопками с надписями «вверх» и «вниз», расположенными на корпусе ванны.

Температура припоя контролируется и поддерживается на уровне, необходимом для производства паяния, автоматической аппаратурой, смонтированной на отдельном щите. При помощи автоматической аппаратуры производится включение и выключе-

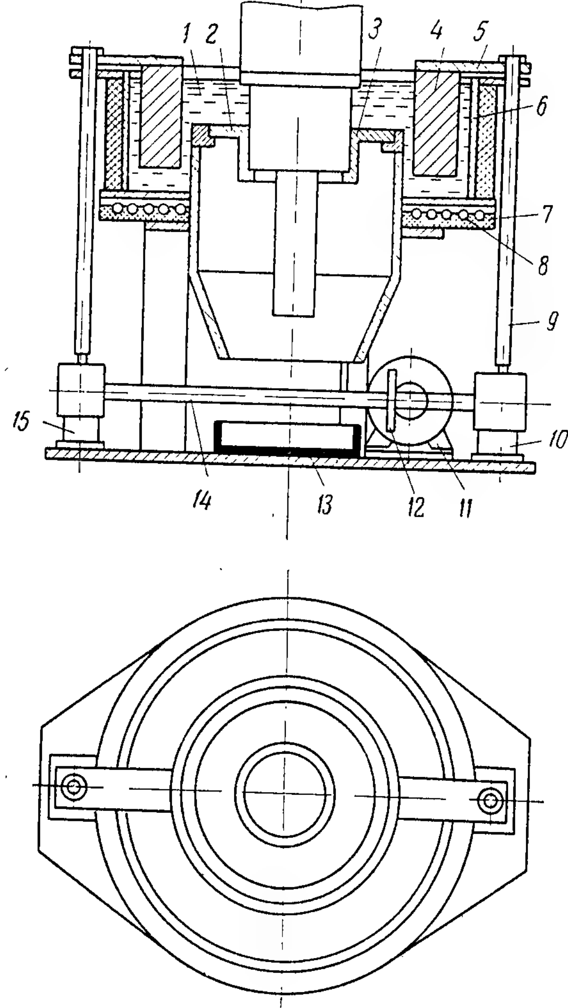



Рис. 106. Ванна для паяния больших коллекторов

ние нагревательных спиралей *8*, питаемых от сети 220 *в*, которые разделены на две группы мощностью по 14,5 *квт*. С наружной стороны корпус ванны обмурован теплоизоляцией.

Процесс паяния производится следующим образом: в корпус ванны вставляется сменное кольцо *2*, соответствующее диаметру коллектора, и на него краном опускают якорь. Место стыка кольца с корпусом и коллектором проконопачивают асбестом *3*. На дне ванны установлена чашка *13* на случай протекания припоя через неплотности чеканки. Поплавок *4* опускают, поднимают уровень припоя, и он вступает в соприкосновение с петушками коллектора, которые быстро нагреваются до температуры паяния. После паяния уровень припоя опускают и снимают якорь. За время замены якоря температура припоя, понизившаяся на 20—30°, снова поднимается.

## ДУГОВАЯ СВАРКА ОБМОТКИ ЯКОРЯ С КОЛЛЕКТОРОМ

В машинах, работающих с большими нагрузками, нагрев коллектора может достичь температуры, при которой происходит расплавление оловянисто-свинцового припоя и нарушение соединений между проводами обмотки и коллекторными пластинами. Между тем применение твердых припоев при обычном методе паяния с помощью щипцов с угольными электродами невозможно в коллекторах без ленточных петушков, у которых концы обмотки впаиваются в прорези, профрезерованные в коллекторных пластинах.

Для таких машин применяют сварку концов обмотки с коллекторными пластинами. Сварка производится на автоматической установке в среде инертного газа аргона. Трудность процесса сварки заключается в том, что необходимо защитить изоляцию проводов от действия высокой температуры. При дуговой сварке это достигается за счет концентрированного нагрева пластин, а непрерывный приток газа защищает расплавленный металл от окисления и суживает зону распространения тепла.

Электрическая дуга длиной 2,5 *мм* питается постоянным током 150 *а*, напряжением 30 *в*. Дуга зажигается между свариваемым металлом и вольфрамовым электродом *1* диаметром 3 *мм* (рис. 107). Минус источника тока подводится к электроду, а плюс — к пластине коллектора *3* и проводам обмотки *4*. Концы проводов *4* должны выступать над торцом коллектора на 0,5 *мм*, что позволяет производить их оплавление без применения присадочного металла. Глубина проварки составляет 2—3 *мм*. Газ направляется к месту сварки через мундштук *2*, который для предотвращения зажигания дуги между ним и электродом снабжен фарфоровым наконечником с диаметром внутреннего отверстия 7 *мм*. Конец электрода *1* выступает из мундштука на 10 *мм*.

Для уменьшения нагрева коллектора он охватывается разрезным пустотелым медным кольцом, через внутреннюю полость

которого циркулирует проточная вода. Кольцо плотно прижимается к поверхности коллектора сильной пружиной.

Для снижения влияния нагрева на соседние пластины сварка производится не подряд, а с постоянным шагом в несколько пластин, обеспечивающим сварку всех пластин коллектора. Исследования якорей со сваренными коллекторами показали, что в миканитовых прокладках между пластинами не обнаружено следов разрушения. Длительные испытания двигателей со сваренными коллекторами дали положительные результаты.

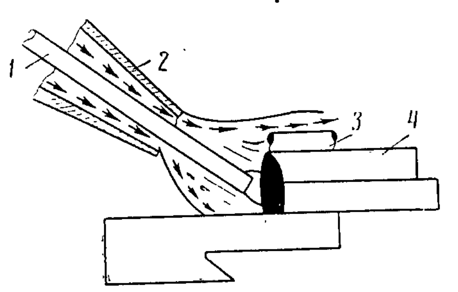


Рис. 107. Дуговая сварка обмотки с коллектором

## Глава XV

# БАНДАЖИРОВАНИЕ ЯКОРЕЙ

### НАЗНАЧЕНИЕ БАНДАЖЕЙ

При вращении якорей и роторов развиваются центробежные силы, которые стремятся выбросить обмотку из пазов наружу. Центробежные силы при большой скорости вращения очень велики. Например, при диаметре якоря 0,5 *м* и 1000 об/мин центробежная сила в 250 раз больше веса обмотки. При увеличении скорости вращения центробежная сила растет не пропорционально увеличению скорости, а квадратично, т. е. при скорости вращения 2000 об/мин центробежная сила возрастет не в 2, а 4 раза и каждый килограмм веса обмотки будет создавать центробежную силу в 1 *т*. Для удержания обмотки в пазах применяются крепления при помощи проволочных бандажей или клиньев. В машинах с полузакрытыми пазами применяются только клинья. В машинах с открытыми пазами малой и средней мощности обычно применяют проволочные бандажи, а в машинах большой мощности деревянные или текстолитовые клинья. Лобовые части всех обмоток якоря и ротора укрепляются бандажами.

Для бандажей на якоре при сборке пакетов делают кольцевые канавки за счет набора листов меньшего диаметра. Эти канавки нельзя делать очень широкими, так как в широких бандажах образуются большие потери от вихревых токов. Поэтому ширина бандажей на якоре не должна превышать 15—20 *мм*.

В процессе пропитки якоря изоляция размягчается и бандажи



теряют плотность намотки. Благодаря этому катушки в пазах могут передвигаться под действием центробежных сил, что приводит к протиранию изоляции и пробою на корпус. Бандажи на лобовых частях якоря после пропитки могут сползать.

Для устранения этих явлений намотку бандажей производят дважды. Перед пропиткой наматывают временные бандажи упрощенного типа. Для этого в пазы вкладывают деревянные планки, выступающие из пазов, и поверх их наматывают бандажную проволоку по всей длине якоря вразбежку. Эту проволоку используют несколько раз, перематывая ее с одного якоря на другой. После пропитки наматывают постоянные бандажи.

### УСТРОЙСТВО БАНДАЖЕЙ

Для бандажей применяют стальную луженую проволоку с очень высокими механическими свойствами. Чтобы разорвать такую проволоку сечением в 1 $мм^2$, надо приложить усилие 180—200 *кг*. Чтобы бандажи были надежными, разрывное усилие от центробежных сил обмотки принимают не более 40 $кг/мм^2$. Таким образом, бандажи обладают четырех-, пятикратным запасом прочности. Луженую проволоку применяют потому, что она не подвергается окислению и легко пропаивается.

Проволока поступает в бухтах и имеет сортамент диаметров: 0,6—0,8—1—1,2—1,5—2 *мм*.

Наиболее употребительные диаметры бандажной проволоки 0,8—1—1,5 *мм*.

Выбор диаметра проволоки зависит от диаметра якоря, так как при намотке толстой проволоки на якорь малого диаметра может быть погнут вал. Если из-за отсутствия проволоки требуемого диаметра приходится ее заменять, то соответственно изменяется число витков. При этом необходимо иметь в виду, что число витков должно быть изменено пропорционально не отношению диаметров, а квадрату отношения диаметров.

**Пример.** В чертеже указан бандаж из проволоки диаметром 1,5 *мм*, состоящий из 20 витков. Если вместо проволоки диаметром 1,5 *мм* взять проволоку диаметром 1,2 *мм*, то число витков должно быть не 20, а

$$20 \times \left(\frac{1,5}{1,2}\right)^2 = 20 \times \frac{2,25}{1,44} = 31 \text{ виток.}$$

При этом изменится и ширина бандажа. По чертежу она была $20 \times 1,5 = 30$ *мм*, а теперь стала $31 \times 1,2 = 37,2$ *мм*. Увеличение ширины бандажа произошло потому, что при уменьшении диаметра проволоки он стал тоньше, а общее сечение бандажа должно сохраниться прежним.

Увеличение ширины бандажа возможно только на лобовых частях обмотки. На якоре бандаж увеличенной ширины не поместится в канавке.

Между бандажом и обмоткой прокладывается дополнительная изоляция. Изоляция под бандажами имеет большое значение и

к ней предъявляются высокие требования не только в отношении электрической прочности, но и в отношении механической прочности и теплостойкости. При вращении якоря, как известно, развиваются большие центробежные силы. Эти силы создают давление катушек обмотки на бандажи. При этом изоляция катушек должна быть предохранена от прорезания витками бандажа. Кроме того, витки бандажей после намотки пропаивают. Поэтому изоляция под бандажами должна быть теплостойкой.

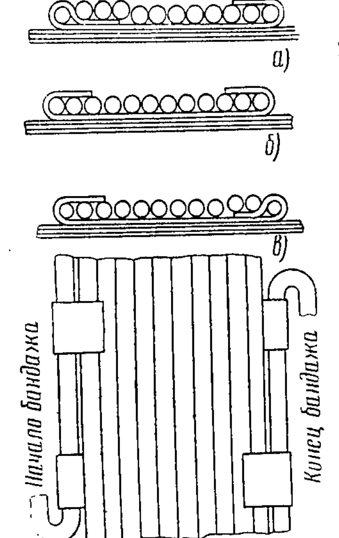



Рис. 108. Заделка концов бандажа:

*а* — начало бандажа, *б* — промежуточная скрепка, *в* — конец бандажа

Обычно независимо от класса изоляции обмотки для изоляции под бандажи как на якоре, так и на лобовых частях обмотки берут гибкий миканит толщиной 0,3 *мм* и электрокартон толщиной 0,5 *мм*. Изоляционные материалы нарезают в виде полос. Ширина полосы на якоре должна быть равна ширине канавки, а на лобовых частях на 5—10 *мм* шире бандажа. Из двух слоев изоляции миканит является электрической теплостойкой изоляцией, а электрокартон предохраняет его от механических повреждений.

Концы бандажей должны быть надежно закреплены, так как под действием центробежной силы они могут начать отматываться. При этом концы бандажей будут задевать за неподвижные части машины, что поведет к аварии. Для закрепления концов и начал бандажей служат скрепки, согнутые из белой жести толщиной 0,25 или 0,36 *мм*. На рис. 108 показан способ заделки начала и конца бандажа в петлях скрепки. Начало бандажа огибается скрепкой, конец которой прижимается следующими витками (рис. 108, *а*). Для конца бандажа ушко в скрепке делается заранее, а конец бандажа вводится в него после окончания намотки бандажей, когда переходные витки проволоки перерезаны (рис. 108, *в*). Начало и конец бандажа около скрепки загибают, чтобы центробежная сила не могла их вытянуть из ушка скрепки. Кроме скрепок, для начала и конца бандажа по окружности якоря симметрично располагают несколько промежуточных скрепок (рис. 108, *б*). Они служат для того, чтобы плотно прижать друг к другу витки бандажа.

В результате неравномерного натяжения бандажной проволоки при намотке могут создаваться неодинаковые напряжения в витках бандажа. Чтобы добиться более равномерного распределения напряжений во всех витках бандажа, после намотки и



загибки скрепок бандаж пропаивают по всей окружности, превращая его в сплошное кольцо. Пропаивание бандажей имеет и другое значение. Если бы произошел разрыв одного из витков бандажа, то непропаянный бандаж вследствие упругости проволоки мгновенно распустился бы как пружина, что привело бы к аварии. Если же обрыв одной из проволок произойдет в пропаянном бандаже, то процесс его разматывания будет происходить медленно, может быть вовремя замечен и авария будет предотвращена. Паяние бандажей производят в процессе намотки и после намотки. При намотке пропаивают начала и концы бандажей в местах ответвления от них переходных витков, а после намотки и заделки концов пропаивают всю поверхность бандажа.

Паяние производят припоем марки ПОС-50. В особо ответственных машинах бандажи пропаивают чистым оловом, что повышает теплостойкость соединения. Паяние производят при помощи электрического паяльника, который должен быть хорошо прогрет. Процесс паяния должен производиться быстро, чтобы уменьшить время нагрева обмотки, лежащей под бандажами. При этом недогретый паяльник приносит больше вреда, чем перегретый. Если, например, паяльник имеет температуру 200—220°, то припой не будет плавиться, а длительное нагревание обмотки до такой температуры ведет к ухудшению свойств изоляции. Наоборот, если паяльник нагрет до 350°, то паяние выполняется быстро, и обмотка не успевает нагреться даже до той температуры, до которой ее нагревал недогретый паяльник при долгом соприкосновении с бандажом. Хорошие результаты при паянии бандажей дает применение дуговых паяльников с тупым торцом.

При паянии бандажей надо быть очень внимательным и осторожным, чтобы не допустить протекания капель припоя в пазы и промежутки между лобовыми частями обмотки. Рекомендуется пропаянные места охлаждать струей воздуха для сокращения времени нагрева обмотки. Надо следить также за тем, чтобы не образовались большие наплывы припоя на бандаже, так как вес наплывов создает дополнительную нагрузку от центробежной силы при вращении якоря. Поэтому после паяния бандажи протирают тряпкой, пока припой еще не застыл.

В крупных быстроходных машинах бандажи на лобовых частях наматывают в несколько слоев. Отдельные слои изолируют один от другого при помощи прокладок из листового асбеста. Чтобы создать равномерные напряжения на разрыв в отдельных слоях, натяжение проволоки при намотке верхних слоев уменьшают примерно на 10% в каждом слое. Например, если бандаж наматывают в три слоя из проволоки диаметром 1 *мм* и первый слой намотан с натяжением проволоки 60 *кг*, то второй слой наматывают с натяжением проволоки 54 *кг*, а третий — 48 *кг*. Это делают потому, что слои бандажа, лежащие внутри, производят прессовку изоляции, а верхние слои наматывают, когда

изоляция уже спрессована. Если бы намотка производилась при одинаковом натяжении проволоки, то все усилие пришлось бы на последний слой бандажа. В многослойных бандажах каждый слой закрепляют скрепками и пропаивают отдельно. Число витков в каждом следующем слое на 3—4 меньше, чем в предыдущем, чтобы крайние витки верхних слоев не сползали.

## БАНДАЖИРОВОЧНЫЕ СТАНКИ

В процессе намотки бандажа проволока должна иметь натяжение, чтобы плотно охватывать обмотку. Для вращения якоря и создания натяжения проволоки при намотке служат бандажировочные станки. Величина натяжения проволоки зависит от ее диаметра (табл. 9).

Таблица 9

**Натяжение бандажной проволоки**

| Днаметр якоря в *мм* | Днаметр проволоки в *мм* | Натяжение в *кг* |
|---|---|---|
| От 100 до 200 | 0,8 | 30—40 |
| „ 201 „ 400 | 1 | 50—60 |
| „ 401 „ 600 | 1,2 | 65—80 |
| „ 601 „ 1000 | 1,5 | 100—120 |
| Свыше 1000 | 2 | 180—200 |

Бандажировочные станки обычно переделывают из старых токарных станков, снабжая их приспособлениями для натяжения бандажной проволоки и контроля за ним.

На рис. 109 показано устройство бандажировочного станка. Бандажируемый якорь *1* ставят в центры станка и приводят во вращение поводковой планшайбой *3*. На обод планшайбы наложена лента тормоза *2*, который нормально держит планшайбу в заторможенном состоянии, действием пружины *6* на конец рычага *7*. Растормаживание производится ножной педалью *11* через трос *13*, огибающий направляющий ролик *8*. В процессе намотки педаль все время должна быть нажата. Пружина *10* служит для возвращения педали в исходное положение. С этой же педалью при помощи троса *14* связано управление фрикционной муфтой *12*. Муфта и тормоз сблокированы так, что при отпускании тормоза муфта включается, а при затормаживании выключается. Тормоз обеспечивает постоянное натяжение проволоки при остановке станка. Бандажная проволока с бухты *16* проходит через фетровые прокладки *17*, стянутые стальными пластинками, и натяжные ролики *15* и через направляющие ролики *5* подводится к окружности якоря. На рисунке прохождение проволоки показано стрелками.

Натяжение проволоки регулируется силой сжатия фетровых



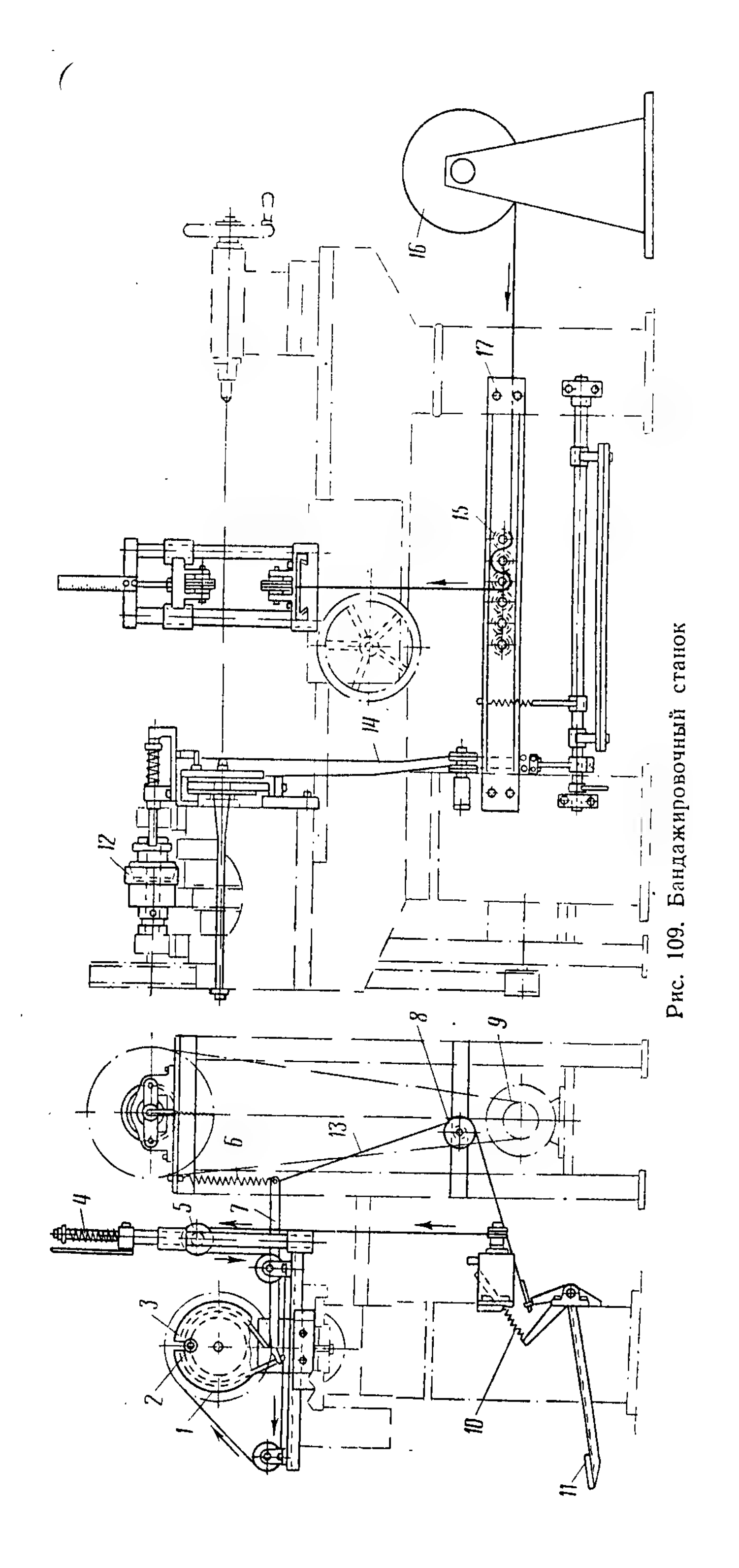


Рис. 109. Бандажировочный станок

прокладок *17* и количеством роликов , которые огибает проволока. Контроль натяжения производится пружинными весами *4*, к крюку которых подвешена обойма ролика *5*, огибаемого проволокой. Продольная подача проволоки при намотке бандажей сообщается передвижением суппорта. Станок приводится в действие от электродвигателя мощностью 1,5 *квт* при 1420 об/мин. Бандажируемый якорь вращается со скоростью 27 об/мин.

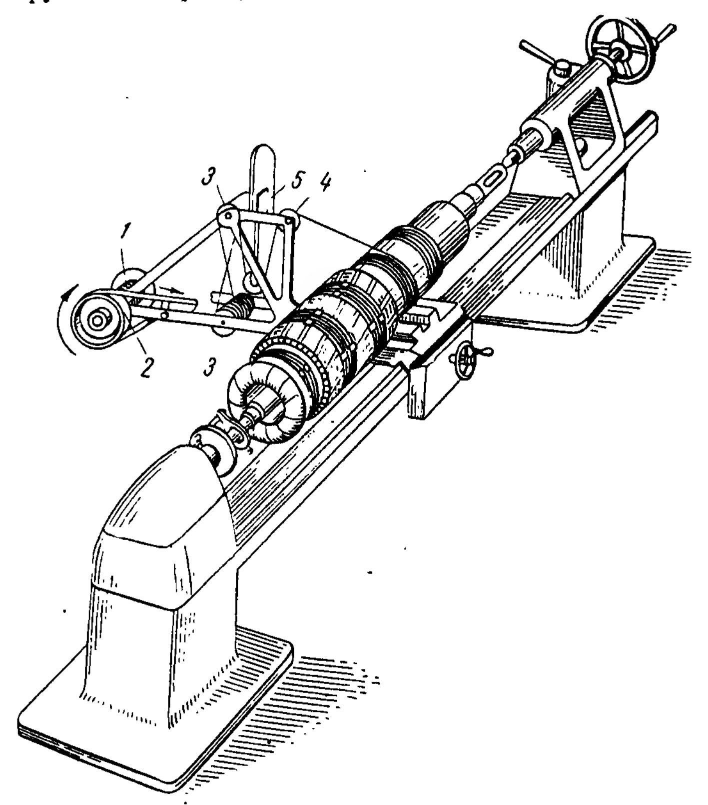



Рис. 110. Приспособление для бандажировки

На рис. 110 показано приспособление к суппорту токарного станка, используемого для намотки бандажей. Бандажная проволока подается с барабана *1*, который затормаживается при помощи шкива *2*. Натяжение проволоки создается путем скольжения ее в желобках неподвижных валиков *3*, а также торможения барабана *1*. Валики *3* не могут вращаться, так как усилия отдельных ветвей проволоки направлены в противоположные стороны. Чем большее число желобков охватывает проволока, тем больше будут усилия натяжения. Для проверки натяжения проволоки служит динамометр *5*. Проволока подается на якорь через ролик *4*.



## РАСЧЕТ БАНДАЖЕЙ

Расчет бандажей заключается в определении числа витков при выбранном диаметре проволоки. Для машин серийного производства на заводе имеются все данные по намотке бандажей, которые для удобства пользования составляются в виде таблицы. Она всегда находится у бандажировочного станка. Но в программе обмоточного цеха всегда встречаются одиночные или ремонтируемые якоря, на которые эти данные отсутствуют. Обмотчику часто приходится выполнять намотку бандажей и вне своего цеха. Поэтому надо уметь самостоятельно определять число витков бандажей. Для этого здесь приводится расчет бандажей.

Расчет обычно ведется отдельно для пазовой части якоря и для лобовых частей. Расчет ведется на максимальное число оборотов, которое может иметь якорь или ротор при работе машины. Для асинхронных двигателей и генераторов постоянного тока и синхронных машин можно брать $n_{макс} = 1{,}3\ n_{ном}$. Номинальное число оборотов $n_{ном}$ обозначается на щитке, прикрепленном к корпусу машины. Для двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением берут $n_{макс} = 1{,}5\ n_{ном}$, а для двигателей с последовательным возбуждением $n_{макс} = 3\ n_{ном}$.

Сначала надо определить вес обмотки, лежащей в пазах. Он рассчитывается по формуле

$$G_п = 1{,}3 \times a \times в \times s_п \times z \times l \times 8{,}9\ г,$$

где $a$ и $в$ — размеры сторон прямоугольного провода в *см*;
$s_п$ — общее число проводов в пазу;
$l$ — длина якоря без лобовых частей в *см*;
$z$ — число пазов.

Затем выбираем диаметр бандажной проволоки $d$ по табл. 9.

Число витков всех бандажей, намотанных на сердечник якоря, определяем по формуле

$$w = 1{,}2 \cdot \frac{G_п (D - h_п)}{d^2 \cdot 3000} \cdot \left(\frac{h_{макс}}{1000}\right)^2,$$

где $h_п$ — глубина паза в *см*.

Вес лобовой части обмотки с одной стороны якоря рассчитываем по формуле

$$G_л = 1{,}2 \frac{0{,}7\pi D}{2p} \cdot a \times в \times s_п \times z \times 8{,}9\ г,$$

где $D$ — диаметр якоря в *см*;
$2p$ — число полюсов.

Подставив этот вес в предыдущую формулу, получим число витков бандажа на лобовой части.

**Пример.** Данные для расчета бандажей генератора: $D = 620$ *мм*; $z = 56$; $s_п = 4$; $a = 4{,}1$ *мм*; $b = 12{,}5$ *мм*; $2p = 6$; $n_{ном} = 1000$ об/мин; $h_п = 40$ *мм*, $l = 300$ *мм*.

Вес обмотки, лежащей в пазах:

$$G_n = 1,3 \times 0,41 \times 1,25 \times 4 \times 56 \times 30 \times 8,9 = 40\,000 \ г = 40 \ кг.$$

Выбираем диаметр проволоки 1,5 *мм* по табл. 9.

Общее число витков всех бандажей на сердечнике якоря:

$$w = 1,2\frac{40\,(62-4)}{0,15^2 \times 3000}\cdot\left(\frac{1300}{1000}\right)^2 = 70 \text{ витков.}$$

Вес лобовой части обмотки:

$$G_л = 1,2 \times 0,7\frac{3,14 \times 62}{2p}0,41 \times 1,25 \times 4 \times 56 \times 8,9 =$$
$$= 28\,000 \ г = 28 \ кг.$$

Число витков бандажа на каждой из лобовых частей:

$$w = 1,2\frac{28\,(62-4)}{0,15^2 \times 3000}\left(\frac{1300}{1000}\right)^2 = 49 \text{ витков.}$$

## УКРЕПЛЕНИЕ ОБМОТКИ В ПАЗАХ КЛИНЬЯМИ

Укрепление обмотки в пазах клиньями производится для якорей с полузакрытыми пазами, а также для якорей крупных машин с открытыми пазами.

Для якорей с открытыми пазами заранее заготовляют клинья трапецеидального сечения. Клинья делаются из твердых пород дерева (бука, дуба) или из текстолита. Для клиньев нужно применять тщательно высушенное дерево, так как сырые клинья в процессе работы усыхают и могут выскочить из пазов. Сушка дерева производится путем применения специальных сушильных устройств или токов высокой частоты.

Для клиньев выбирают бруски дерева без всяких пороков (сучьев, трещин, расслоений). Резка брусков на заготовки клиньев должна производиться под углом 30° к растительным слоям, во избежание скалывания слоев при забивании клина в паз.

*Глава XVI*

# ОТДЕЛКА ЯКОРЯ

После укладки обмотки якоря, паяния обмотки с коллектором, забивки клиньев, пропитки и намотки бандажей необходимо выполнить следующие операции: заделать выступающие края миканитовых манжет коллектора, обточить, продорожить, отшлифовать и отполировать рабочую поверхность коллектора и балансировать якорь. Эти операции объединяются под общим названием — отделка якоря.



## ЗАДЕЛКА МИКАНИТОВЫХ МАНЖЕТ

Коллекторные пластины надежно изолированы от втулки и от нажимных конусов при помощи манжет и цилиндра из высококачественного изоляционного материала — миканита. Поэтому пробой изоляции коллектора на корпус внутри коллектора — явление очень редкое и происходит большей частью из-за механического повреждения манжет, например при неосторожном подтягивании гайки или болтов, которыми стягиваются нажимные конусы. Гораздо чаще коллектор выходит из строя вследствие пробоя выступающих из-под пластин частей миканитовых манжет. Эти поверхности должны быть защищены несколькими слоями киперной ленты или намоткой шпагата от расслаивания миканита при вращении якоря. Помимо пробоя изоляции, в этом месте часто наблюдается перебрасывание электрической искры с коллекторной пластины на торец нажимного конуса коллектора через изоляционный поясок, называемое *перекрытием* изоляции. Это объясняется тем, что при работе машины угольные щетки истираются и пыль от них покрывает все поверхности, находящиеся вблизи щеток. Уголь является проводником электрического тока, и слой угольной пыли превращает изоляционный поясок в проводник, по которому начинает протекать ток. Надежным средством борьбы с этим явлением служит лакировка торцов коллекторных пластин и изоляционного пояска для придания им гладкой, блестящей поверхности, на которой пыль не может задерживаться. При осмотрах машины нужно чистить поясок сухой тряпкой. Лакировка производится путем четырехкратного покрытия изоляционного пояска, торцов коллекторных пластин и шайбы коллектора глифталевой эмалью с последующей сушкой каждого слоя в печи. Перед наложением последнего слоя следует очистить поверхность изоляционного пояска стеклянной бумагой.

Намотка киперной ленты на выступающий край миканитовой манжеты имеет и другое значение. Как видно на рис. 102, *а*, между выточкой в коллекторных пластинах и миканитовой манжетой имеется щель. Это делается для того, чтобы давление на нажимной конус при прессовке коллектора передавалось на трапецеидальный выступ коллекторной пластины «ласточкин хвост». Но в эту щель может проникать пыль и влага, снижающие изоляционные свойства манжет. При намотке киперной ленты или шпагата ее закрывают от внешнего пространства.

Наружная окраска всей поверхности якоря производится серой электроэмалью и имеет целью создать на поверхности якоря водонепроницаемую пленку, которая защищает обмотку от проникновения влаги, а остальные поверхности якоря от ржавления. Окраска производится кистью или пульверизатором, после чего якорь подвергается сушке. Продолжительность и температура сушки устанавливаются технологическими инструкциями в зависимости от сорта эмали и изоляции якоря.

## ОБТОЧКА КОЛЛЕКТОРА

Окончательная обработка рабочей поверхности коллектора производится на токарном станке после лакировки и сушки якоря. Конец вала поддерживается вращающимся центром, а шейка вала направляется люнетом (рис. 111), чем достигается концентричность обработанной поверхности коллектора и шейки вала. Благодаря этому при вращении якоря в подшипниках машины после сборки коллектор будет иметь наименьшее биение, которое не зависит от биения конца вала.

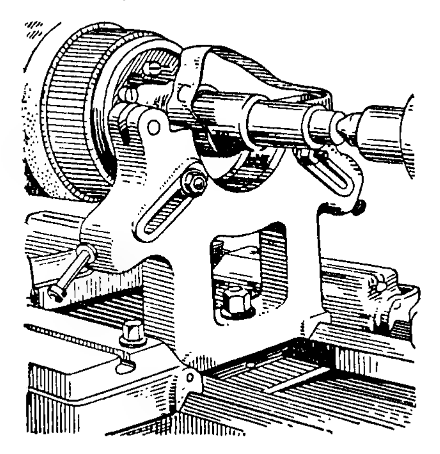


Рис. 111. Обточка коллектора на якоре

Коллектор обрабатывают резцами с пластинками из твердых сплавов при высоких скоростях резания. При обтачивании коллектора на станке необходимо тщательно выверить якорь до минимального биения коллектора при вращении. Биение коллектора проверяют индикатором.

Обточку коллектора производят острозаточенным резцом, причем подача резца и глубина резания должны быть минимальными.

После того как снят весь припуск на обработку и диаметр коллектора получил размер, указанный в чертеже, производят продороживание, шлифование и полировку рабочей поверхности коллектора.

## ПРОДОРОЖИВАНИЕ КОЛЛЕКТОРА

В практике работы машин постоянного тока замечается, что по прошествии некоторого срока миканитовая изоляция между пластинами начинает выступать над поверхностью коллектора. Это явление может быть объяснено несколькими причинами. Во-первых, истирание медных пластин коллектора щетками происходит быстрее, чем истирание прессованного коллекторного миканита. Во-вторых, медные пластины изнашиваются не только вследствие трения щеток, но и переноса частиц меди на щетку при искрении на коллекторе, которое в большей или меньшей степени всегда происходит при работе машины. Искра под щеткой представляет собой маленькую электрическую дугу, имеющую высокую температуру. Благодаря искрению на коллекторе образуются мельчайшие углубления, а медь коллекторных пластин в расплавленном состоянии переносится на щетку. Этим объясняется то, что после длительной работы машины на контактной поверхности положительных щеток появляются медные вкрапления, а поверхность коллектора делается шероховатой. Наконец, миканитовая изоляция может выступать над поверхностью коллектора из-за взаимного перемещения меди и миканита при периодических нагреваниях и остываниях коллектора во время работы машины и при остановках, так как при нагревании коллектор увеличивается в диаметре за счет температурного расширения меди, а при остывании снова уменьшается.

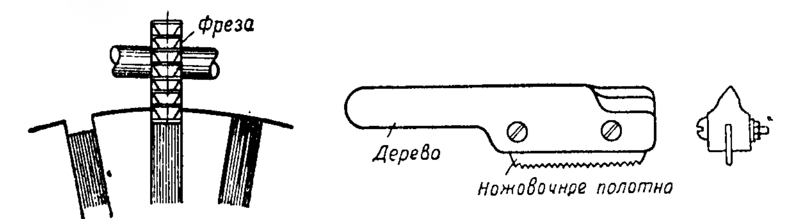



Рис. 112. Продороживание коллектора фрезой

Рис. 113. Пилка для продороживания коллектора

Выступание изоляции над поверхностью коллектора даже на незначительную высоту, выражающуюся в сотых долях миллиметра, сильно ухудшает работу щеток на коллекторе, так как при этом увеличивается трение и нарушается контакт между щеткой и пластинами коллектора. Для того чтобы избежать этого во всех современных машинах постоянного тока, производится продороживание коллекторов.

Продороживание состоит в том, что миканитовая изоляция между коллекторными пластинами углубляется на 0,5—0,8 *мм* путем выскабливания миканита. Таким образом, поверхность коллектора покрывается продольными дорожками в местах вырезки изоляции, откуда и пошло название этой операции — *продороживание*.

Продороживание коллектора производится двумя способами: фрезерованием и пропиливанием. Для фрезерования служит стационарный или переносной станочек, и операция продороживания производится фрезой небольшого диаметра, так как большая фреза может упираться в петушки коллекторных пластин при подходе к краю коллектора. Вращение фрезе передается через гибкий вал или через ременную передачу, а продольная подача фрезы производится вручную (рис. 112). После фрезерования одной канавки якорь поворачивают на одно коллекторное деление и приступают к фрезерованию следующей канавки. Грани коллекторных пластин проскабливают шабером, при этом снимают заусенцы, полученные при фрезеровании коллектора.

При отсутствии станка прорезание изоляции между пластинами производят вручную при помощи пилки (рис. 113). Пилку изготовляют из кусочка ножовочного полотна, по толщине рав-

ного толщине миканита. Полотно закрепляют винтами в деревянной оправке. При прорезании изоляции не должно оставаться чешуек слюды на боковых сторонах коллекторных пластин. Оставшиеся после фрезерования чешуйки слюды удаляют ножом и волосяной щеткой.

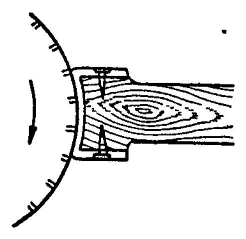
Во избежание попадания медных стружек в обмотку якоря якорь при продороживании коллектора закрывают парусиновым чехлом, а коллектор после продороживания обдувают сжатым воздухом.

## ШЛИФОВАНИЕ И ПОЛИРОВКА КОЛЛЕКТОРА

При обточке резцом невозможно получить достаточную чистоту поверхности коллектора, необходимую для хорошей работы щеток. Кроме того, в процессе продороживания на пластинах могут получиться риски и царапины, поэтому необходимы шлифование и полировка поверхности коллектора.

Для шлифования следует применять абразивные круги, не проводящие тока. Наибольшее распространение получили искусственные шлифовальные круги, в состав которых входит пемза. Применяется также пемза, пропитанная керосином. Шлифовальный круг должен быть предварительно обработан по цилиндрической поверхности.

Полировка поверхности коллектора производится с помощью деревянной колодки, обработанной по радиусу цилиндрической поверхности коллектора и покрытой стеклянной бумагой мелких номеров (рис. 114). Часто полировка при помощи колодки производится после обточки и тогда заменяет собой и шлифование коллектора абразивными кругами. Полировка колодкой со стеклянной бумагой применяется и в процессе эксплуатации машины для снятия шероховатостей и нагара.


Рис. 114. Колодка для полировки коллектора

После того как на коллекторе появились следы износа его щетками, при котором прямолинейная образующая цилиндрической поверхности превращается в волнистую линию, коллектор надо проточить. Для этого якорь приводят во вращение с помощью приводного двигателя, сцепляя его с валом якоря либо перебрасывая приводной ремень от шкива двигателя на сердечник якоря с обрабатываемым коллектором. Для этого необходима разборка машины и затрата значительного времени на установку приводного двигателя.

Во время ремонта якоря прокатного двигателя типа МП-24 мощностью 7000 *л. с.* был применен способ проточки коллектора диаметром 2550 *мм* в собственных подшипниках без применения



приводного двигателя. К якорю ремонтируемого двигателя было подведено пониженное напряжение 45 *в* при номинальном напряжении на щетках 700 *в* при ослабленном магнитном поле. Якорь вращался со скоростью 15 об/мин. Глубина резания при черновой обточке составляла 0,2 *мм*, а при чистовой — 0,1 *мм* при подаче резца 0,05 *мм/об*. Чтобы избежать подгорания снимаемой стружки, резец был установлен точно в геометрической нейтрали, которая у данного двигателя оказалась расположена ниже горизонтального диаметра. При проточке коллектора рабочие щетки были вынуты для предохранения их от повреждения и поставлены временные щетки по одной на каждом пальце щеткодержателя.

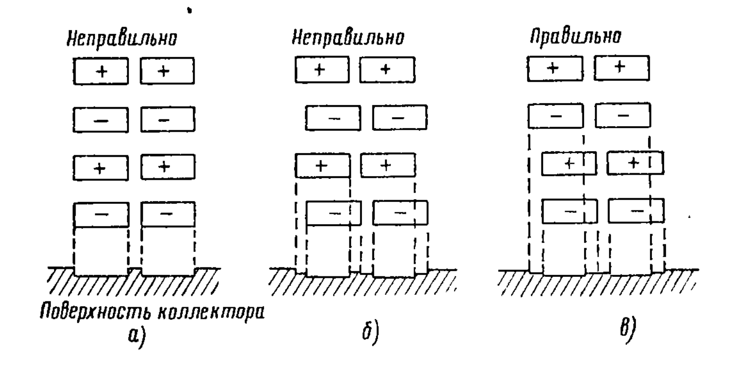


Рис. 115. Расстановка щеток на коллекторе:
*а* — расстановка без сдвигов, *б* — расстановка в шахматном порядке, *в* — правильная расстановка

Резец был изолирован от суппорта двумя гетинаксовыми прокладками, чтобы не повредить коллектор в случае появления в электрической цепи второго замыкания на землю.

Износ коллектора в значительной степени зависит от правильной расстановки щеток. На рис. 115, *а* показана расстановка щеток без сдвигов между щетками разных полюсов. При этом на коллекторе будут вырабатываться канавки в местах установки щеток, а между ними будут оставаться гребешки. На рис. 115, *б* показана расстановка щеток на коллекторе в шахматном порядке. Однако и здесь не будет равномерного срабатывания коллектора, так как положительные щетки больше изнашивают коллектор, чем отрицательные. Поэтому такой способ расстановки щеток, хотя и встречается в практике, не может быть рекомендован. На рис. 115, *в* показан правильный способ расстановки щеток, при котором на любой кольцевой дорожке коллектора стоит одинаковое число положительных и отрицательных щеток. При этом обеспечивается более равномерный износ коллектора и проточки его будут требоваться реже, чем при других способах расстановки щеток.

## БАЛАНСИРОВКА ЯКОРЯ

Якорь является вращающейся частью электрической машины. Вращение всякой детали проходит спокойно в том случае, когда центр ее тяжести лежит на оси вращения. Если же это условие не выполнено, то при вращении появляются биения, машину начинает трясти; если машина не закреплена на фундаментной плите, то она начинает ползти. Все эти явления зависят от скорости вращения и усиливаются пропорционально квадрату скорости.

По форме якорь представляет собой цилиндр, у которого центр тяжести должен лежать на оси. По ряду причин центр тяжести смещается в сторону и если представить себе якорь, разрезанным на две части вдоль оси, то одна половина будет тяжелее другой. Для обеспечения спокойного вращения якоря в подшипниках к более легкой стороне якоря прикрепляют дополнительные балансировочные грузы. Процесс нахождения величины и места прикрепления грузов называется балансировкой якоря. Балансировке подвергаются все вращающиеся части электрических машин, т. е. якори машин постоянного тока и роторы машин переменного тока.

Может показаться, что процесс балансировки — это обычная слесарная операция, которая к профессии обмотчика не имеет отношения. Однако это неверно: во-первых, смещение центра тяжести якоря или ротора в первую очередь получается от неравномерного распределения лобовых частей обмоток, что целиком зависит от обмотчика, во-вторых, иногда процесс балансировки связан с обмоточными операциями. Так, например, в машинах малой мощности в некоторые пазы для балансировки якоря забивают кусочки медных клиньев вместо деревянных. В некоторых машинах для балансировки применяют напаивание припоя на проволочные бандажи. В-третьих, процесс балансировки, являясь последней операцией перед сдачей якоря на сборочный участок, обычно производится в обмоточных цехах и обмотчики в порядке совмещения профессий иногда производят балансировку.

Для машин со скоростью вращения до 1000 об/мин применяют статическую балансировку. Для этого якорь кладут шейками вала на ровные, горизонтальные стальные линейки и, перекатывая его рукой, останавливают в различных положениях. Если центр тяжести лежит выше оси вращения, то якорь начинает катиться по линейкам самостоятельно. После нескольких перекатываний то в одну, то в другую сторону якорь, наконец, остановится. При этом центр тяжести его окажется в самом нижнем положении (рис. 116, *а*). Если якорь вывести из этого положения, то он после нескольких перекатываний снова вернется в прежнее положение. Следовательно, легкая половина якоря расположена вверху. Ее помечают мелом и прикрепляют к ней балансировочный груз. Затем снова проверяют якорь на линейках и подбирают



величину балансировочного груза так, что якорь перестает самостоятельно перекатываться по линейкам, в каком бы положении его не остановили. Это и будет служить признаком того, что процесс балансировки закончен.

Если диаметры шеек вала разные, то при перекатывании на линейках и при повороте якоря на один и тот же угол шейка с большим диаметром будет проходить больший путь, чем шейка с меньшим диаметром. Вследствие этого шейка с большим диаметром должна будет проскальзывать, что затруднит перекатывание якоря. От этого нарушается точность балансировки. Для

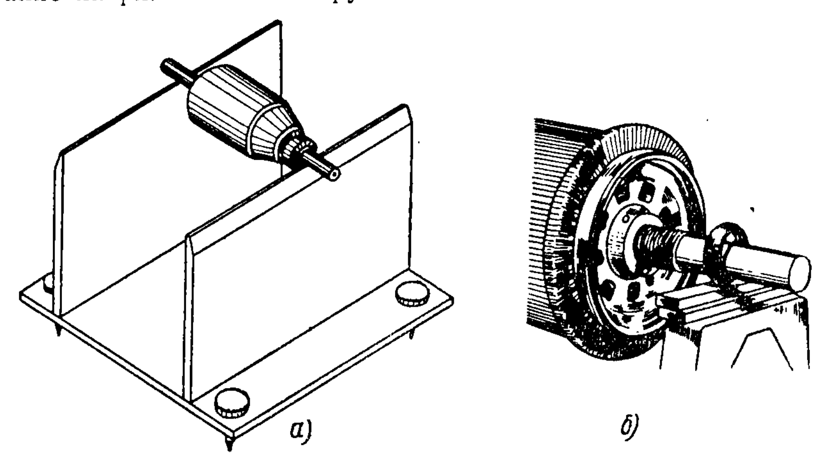



**Рис. 116. Статическая балансировка якоря:**
*а* — балансировка на линейках, *б* — балансировка с кольцом

устранения этого явления на шейку вала меньшего диаметра надевают кольцо, толщина которого равна разности радиусов шеек вала (рис. 116, *б*). Имея несколько таких колец, можно балансировать якори с различными диаметрами шеек вала.

В машинах со скоростями вращения более 1000 об/мин особенно при большой длине якоря статическая балансировка становится недостаточной, так как каждая сторона якоря сбалансирована самостоятельно. Поэтому быстроходные машины нуждаются в динамической балансировке. Для этого якорь укрепляют в подшипниках, которые опираются на упругие опоры (рис. 117). Одну опору закрепляют и, якорь приводят во вращение, прижимая к его поверхности бесконечный ремень, который приводится в движение электродвигателем, затем отводят ремень от якоря и дают ему возможность вращаться по инерции. При смещении центра тяжести якоря упругие опоры подшипников будут раскачиваться из стороны в сторону. К ровной поверхности якоря подводят мелок или карандаш и он оставит черту на той стороне якоря, биение которой при прохождении около мелка было наибольшим. Затем повторяют ту же операцию при враще-

нии якоря в противоположном направлении и мелок снова наносит черточку на якоре. Место крепления груза будет посредине между черточками.

Отбалансировав одну сторону якоря, закрепляют этот подшипник и освобождают второй подшипник. При этом операции балансировки продолжаются в таком же порядке. После балансировки второй стороны надо снова проверить первую сторону якоря. Динамическая балансировка позволяет путем размещения грузов на обеих сторонах якоря устранить любое смещение центра тяжести якоря. Для быстрого определения величины и места закрепления грузов надо обладать теоретическими знаниями о балансировке и практическим опытом.

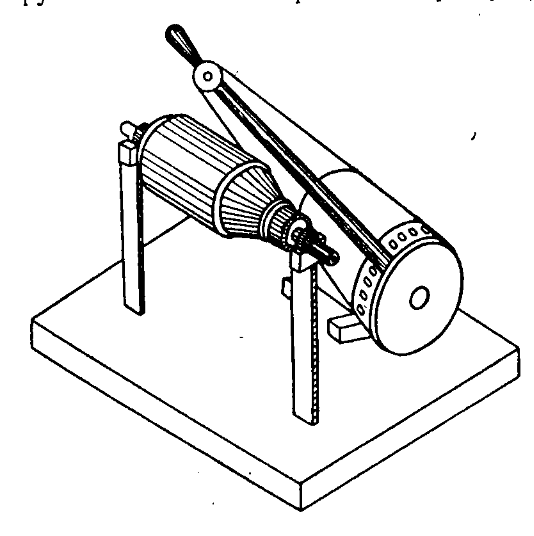


Рис. 117. Динамическая балансировка

В процессе балансировки пробные грузы закладывают под киперную ленту, обернутую вокруг коллектора или якоря. По окончании балансировки надо их заменить постоянными грузами, которые прикрепляют с одной стороны якоря к торцу нажимного конуса коллектора, а с другой стороны якоря к нажимной шайбе якоря или к вентилятору. При этом величина постоянного груза $P_1$ должна быть больше или меньше пробного $P_2$ в отношении радиусов окружностей, на которых грузы помещаются. Например, если пробный груз был укреплен на якоре с радиусом $R_2$, а постоянный груз будет крепиться на окружности радиуса $R_1$, то величина постоянного груза определяется по формуле

$$P_1 = P_2 \frac{R_2}{R_1}.$$

Чем больше радиус окружности, тем меньше потребуется балансировочный груз.

Раньше балансировку производили исключительно свинцовыми грузами. Это объясняется тем, что свинец обладает большим удельным весом, и ему легко можно придавать различные формы и резать на куски. Но мягкость свинца имеет и отрица-



тельные стороны. При большой скорости вращения свинцовый груз может изменять форму под действием центробежной силы, а также отрываться от якоря. Поэтому свинцовые грузы можно применять только тогда, если их забивают в канавки нажимных шайб и снаружи закрывают кольцом из листовой стали. В новых типах машин чаще применяют балансировочные грузы, которые согнуты из полосовой или квадратной стали и привернуты болтами или приварены к торцам якоря (рис. 118, *а*). Для быстроходных машин со скоростями вращения 3000 об/мин применяют грузы, нарезанные из стального кольца трапецеидального сечения (рис. 118, *б*). Каждый грузик *2* разрезан пополам и крепится при помощи винта *1*, прижимающего обе половинки грузика в канавке, проточенной в нажимной шайбе якоря *3*. Балансировку якоря про-

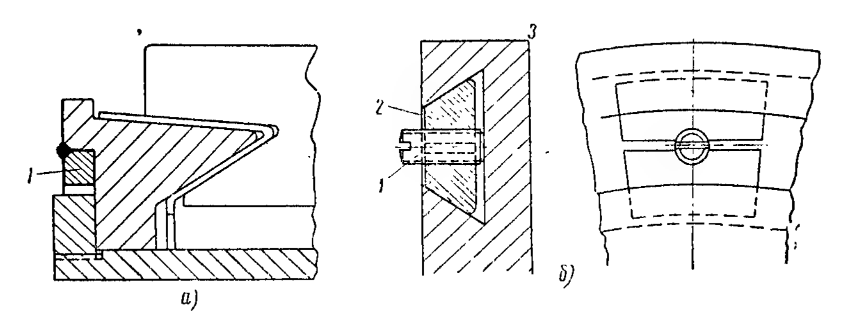



Рис. 118. Балансировочные грузы:
*а* — груз из полосовой стали, *б* — груз трапецеидального сечения

изводят, передвигая эти грузики по окружности канавки. Таким образом, надобность во временных грузах и в пересчете их на постоянные отпадает.

Напаивание припоя на бандажи в качестве балансировочного груза не рекомендуется, так как эти грузы растягивают бандажи, а при большом весе могут послужить причиной разрыва бандажа. Поэтому этот метод балансировки допускается лишь в крайних случаях, когда на якоре нет других мест для крепления балансировочных грузов.

При балансировке короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей с обмоткой из алюминия вместо добавления груза на легкой стороне ротора применяют высверливание сердечника ротора на противоположной стороне окружности ротора. Следовательно, надобность в балансировочных грузах и их креплении отпадает. Не допускается сверление замыкающих колец обмотки, так как алюминий — легкий металл и для балансировки приходится сильно ослаблять сечение кольца. Дополнительные грузы можно крепить к крылышкам вентилятора, отлитого вместе с обмоткой.

## Глава XVII

# СХЕМЫ СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК РОТОРА

## ЭЛЕМЕНТЫ СТЕРЖНЕВОЙ ОБМОТКИ

В асинхронных двигателях большой мощности с фазными роторами, у которых через провода обмотки протекает большой ток, применяются стержневые обмотки ротора. Они изготовляются из стержней, согнутых из голых медных шин, изолированных при помощи обертывания изоляционными материалами. Для стержневых обмоток применяются шины прямоугольного сечения или полуовального сечения, показанного на рис. 39. Чаще всего стержневые обмотки выполняются как двухслойные с двумя стержнями в пазу (двухстержневые). Однако встречаются стержневые обмотки и с четырьмя стержнями в пазу. Такие обмотки можно рассматривать как двухстержневые, но с удвоенным числом пазов.

Стержневые обмотки могут быть как волнового, так и петлевого типа. Однако наибольшее распространение получили обмотки волнового типа. Их преимущество заключается в том, что они имеют меньшее число соединений между катушечными группами.

Стержневые обмотки ротора применяются при закрытых или полузакрытых пазах ротора. Поэтому стержни вставляют в пазы с торца ротора. Обмотка состоит из стержней верхнего и нижнего слоя. При прямоугольном сечении стержней они отличаются только длиной лобовых частей, которая у стержней верхнего слоя несколько больше. При полуовальном сечении стержни верхнего и нижнего слоя отличаются различным расположением закругленной стороны, как это видно на сечении паза (см. рис. 39). Кроме стержней, во всякой стержневой обмотке существуют еще перемычки или соединительные дуги. В каждой фазе имеется по одной такой перемычке, а всего на роторе — три. Назначение перемычек будет ясно из рассмотрения схемы волновой обмотки ротора.

На рис. 119 показана схема волновой обмотки ротора, имеющего 24 паза и 4 полюса. Проследим построение схемы, начиная с паза *1* (начало первой фазы). На схеме стержни, лежащие в верхнем слое, изображены сплошными линиями, а стержни, лежащие в нижнем слое, — пунктирными линиями. Стержни верхнего и нижнего слоев соединяют хомутиками и пропаивают. Каждый хомутик соединяет стержень верхнего слоя со стержнем нижнего слоя (см. рис. 39). Для построения схемы надо знать шаг обмотки, который как и для других обмоток равен числу пазов, разделенному на число полюсов.



Как было сказано в главе IX, статорные обмотки почти всегда выполняют с укороченным шагом. В обмотках петлевого типа укорочение шага, кроме улучшения электрических свойств машины, дает еще некоторую экономию меди в лобовых частях катушек. В обмотках волнового типа укорочение шага не применяется, так как укорочение шага с одной стороны ротора влечет за собой удлинение шага с противоположной стороны и никакой экономии меди не получится. Поэтому стержневые обмотки ротора выполняют с диаметральным шагом, за исключением одного шага при каждом обходе ротора. Для данного ротора шаг обмотки по пазам $y_z = 24:4 = 6$. Следовательно, верхний стержень

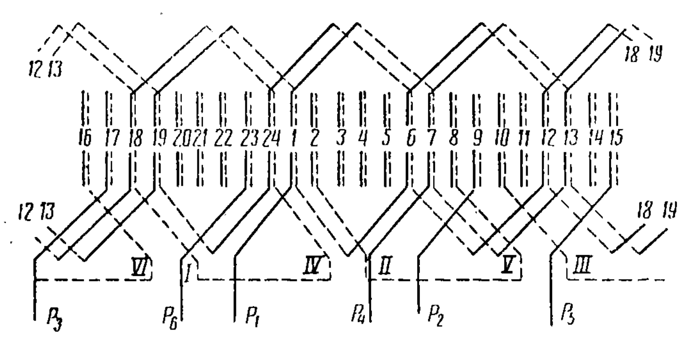


Рис. 119. Схема обмотки ротора

1-го паза надо соединить с нижним стержнем 7-го паза. Для того чтобы узнать следующее соединение надо к номеру 7-го паза прибавить шаг обмотки *6*. На схеме видно, что нижний стержень 7-го паза соединен с верхним стержнем 13-го паза. Следующее соединение будет между верхним стержнем 13-го паза и нижним стержнем 19-го паза. Если к номеру 19-го паза прибавить шаг обмотки, то получим номер 1-го паза, т. е. нижний стержень 19-го паза надо будет соединить с верхним стержнем 1-го паза и таким образом обмотка замкнется. Чтобы избежать этого при подходе к пазу, с которого обмотка началась, делают укорочение или удлинение шага обмотки на 1-й паз. Такие обмотки называют обмотками с укороченными или удлиненными переходами. На рис. 119 показана схема обмотки с укороченными переходами, поэтому нижний стержень 19-го паза соединен с верхним стержнем 24-го паза (шаг 1—6). Второй обход ротора идет рядом с первым. Верхний стержень 24-го паза соединен с нижним стержнем 6-го паза, который соединяется с верхним стержнем 12-го паза, а он с нижним стержнем 18-го паза.

У этой обмотки число пазов на полюс и фазу $q = \frac{24}{3 \times 4} = 2$.

Поэтому надо было сделать два обхода ротора. Из схемы видим, что на роторе образовались четыре полюсных деления в соответ-

ствии с числом полюсов. Но произведенные соединения образовали волны, которые являются как бы полукатушками. Для создания четырехполюсной обмотки не хватает соединений с противоположной стороны ротора.

Такие соединения получатся, если мы будем делать такие же обходы ротора, но в обратном направлении. Для этого надо соединить нижний стержень 18-го паза с нижним стержнем, отстоящим от него на один шаг, т. е. со стержнем 24-го паза, что и сделано на схеме в виде перемычки, обозначенной *I—IV*. Теперь произведем два обхода ротора в противоположном направлении. Нижний стержень 24-го паза соединим с верхним стержнем 18-го паза, который будет соединен с нижним стержнем 12-го паза, а он соединится с верхним стержнем 6-го паза. Следующее соединение согласно шагу обмотки нужно было бы сделать с нижним стержнем 24-го паза, но он уже занят, и поэтому делаем укороченный шаг и соединяем верхний стержень 6-го паза с нижним стержнем 1-го паза. Затем соединяем нижний стержень 1-го паза с верхним стержнем 19-го паза, который соединяется с нижним стержнем 13-го паза, а он с верхним стержнем 7-го паза. Другой конец верхнего стержня 7-го паза идет на вывод (конец первой фазы).

Обычно обмотки роторов асинхронных двигателей соединяют в звезду, и к контактным кольцам подводят три вывода, которые в соответствии с ГОСТ 183—55 должны обозначаться: от первой фазы $P_1$, от второй фазы $P_2$ и от третьей фазы $P_3$. На схемах обмоток, которые приводятся в этой главе, буквами $P_1$, $P_2$, $P_3$ обозначены начала фаз, а концы фаз по аналогии с обозначениями в схемах обмоток статора с шестью выводами обозначены буквами $P_4$, $P_5$, $P_6$. Соответственно начала и концы катушек, соединяемые перемычками, обозначены римскими цифрами. Так, например, в первой фазе даны следующие обозначения: $P_1$ — начало фазы, $P_4$ — конец фазы, *I — IV* — перемычка. Во второй фазе: $P_2$ — начало фазы, $P_5$ — конец фазы и *II — V* — перемычка. В третьей фазе: $P_3$ — начало фазы, $P_6$ — конец фазы и *III — VI* — перемычка.

После двух обратных обходов мы видим на схеме четыре катушечных группы, состоящие каждая из двух катушек. Четыре катушечных группы соответствуют числу полюсов, а две катушки в каждой группе соответствуют числу пазов на полюс и фазу. Таким образом видно, что стержневая обмотка ротора волнового типа состоит из трех элементов: стержни верхнего слоя, стержни нижнего слоя и перемычки.

## РАСПОЛОЖЕНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК И ВЫВОДОВ ФАЗ

Ротор является вращающейся частью машины. Для того чтобы вращение ротора происходило без биений, надо чтобы центр тяжести совпадал с осью вращения. Это будет возможно



только в том случае, если все элементы обмотки будут расположены равномерно по окружности, что в первую очередь зависит от расположения начал фаз. Поэтому в обмотках роторов асинхронных двигателей начала фаз располагают не на 120 электрических градусов, как в статорных обмотках, а равномерно по окружности, т. е. на 120 геометрических градусов. Но при этом должно быть выполнено условие электрической симметрии. Для соблюдения электрической симметрии начала фаз должны быть сдвинуты друг относительно друга на 120 или на 240 электрических градусов плюс любое целое число раз по 360 электрических градусов. Такими углами, кроме 120 и 240 электрических градусов, являются 480, так как $480 - 360 = 120$; 600, так как $600 - 360 = 240$; 2400, так как $2400 - 6 \times 360 = 2400 - 2160 = 240$ и многие другие.

Если начала фаз расположены равномерно по окружности, то равномерно будут расположены концы фаз и перемычки. Проследим это по схеме рис. 119. Здесь начала фаз выходят из 1, 9 и 17-го пазов. В окружности при $p=2$ будет $360 \times 2 = 720$ электрических градусов. Угол между пазами $\frac{720}{24} = 30$ электрических градусов. Шаг между началами составляет восемь пазовых делений. Следовательно, начала фаз расположены равномерно по окружности. Электрическая симметрия также выдержана, так как $30 \times 6 = 240$ электрических градусов. Концы фаз выходят из 7, 15 и 23-го пазов, разность между которыми также восемь пазовых делений. Как видно на схеме, равномерно расположены и перемычки, так как между соседними перемычками пропущено по одному пазу. Таким образом, в этой схеме выполнены требования и электрической симметрии, и равномерного расположения по окружности начал и концов фаз, а также перемычек. Вот почему такой ротор легко будет балансировать.

**Пример 1.** Обмотка ротора имеет следующие данные: $z = 72$; $2p = 8$. Схема обмотки представлена на рис. 120. Число пазов на полюс и фазу $q = \frac{72}{3 \cdot 8} = 3$. На схеме видно, что в соответствии с этим каждая катушечная группа состоит из трех катушек. Всего в фазе катушечных групп восемь, что соответствует числу полюсов.

Окружность содержит $360 \times 4 = 1440$ электрических градусов. Угол между пазами $\frac{1440}{72} = 20$ электрических градусов. Начала фаз выходят из пазов 4, 28 и 52. Разность между ними составляет $\frac{72}{3} = 24$ пазовых деления, т. е. начала фаз расположены равномерно по окружности. Также равномерно будут расположены и концы фаз. Расстояния между перемычками на схеме составляют 14 пазов, а каждая перемычка охватывает 10 пазов. Следовательно, на три расстояния между перемычками остается $72 - 30 = 42$ пазовых деления, а на одно расстояние $\frac{42}{3} = 14$ пазовых делений. Поэтому и перемычки расположены равномерно по окружности ротора. Теперь посмотрим, соблюдается ли условие электрической симметрии. Угол между началами

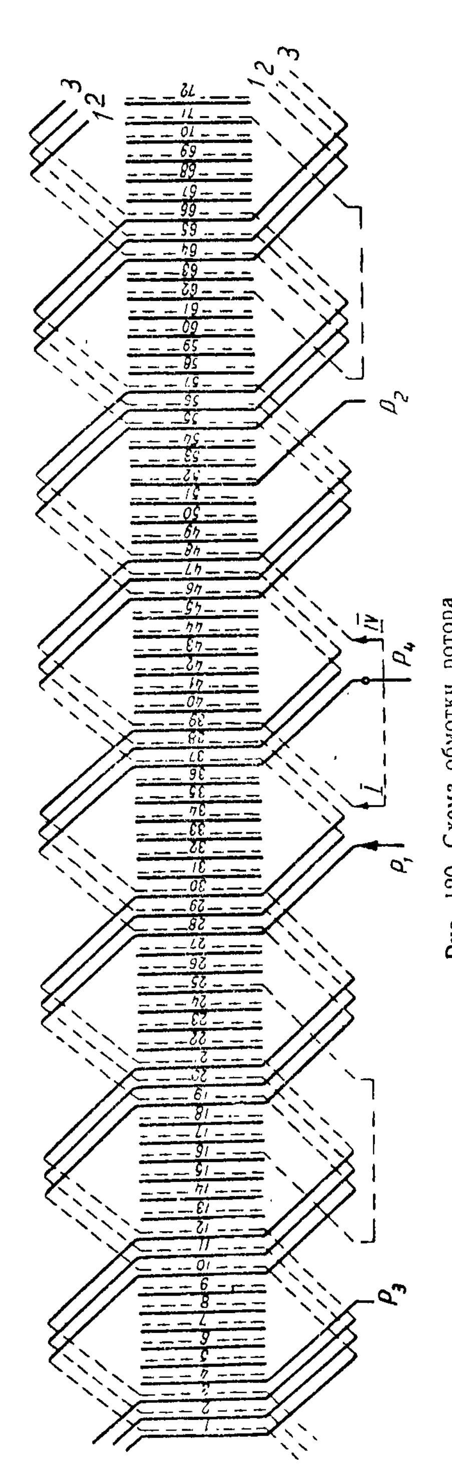


Рис. 120. Схема обмотки ротора

фаз составляет $24 \times 20 = 480$ электрических градусов. Если вычтем полную окружность, то получим $480 - 360 = 120$ электрических градусов. Таким образом, требования электрической симметрии выдержаны.

Однако не во всех обмотках можно одновременно выполнить требования геометрической и электрической симметрии. Если число пар полюсов кратно трем, то начала фаз и перемычки нельзя расположить равномерно по окружности.

**Пример 2.** $z = 72$; $2p = 6$.

В этой обмотке окружность содержит $360 \times 3 = 1080$ электрических градусов, а угол между пазами 15 электрических градусов. Если бы расположили три выводных конца равномерно по окружности (через 24 пазовых деления) в 1, 25 и 49-м пазах, то между этими выводами было бы $24 \times 15 = 360$ электрических градусов, т. е. все выводы принадлежали бы одной фазе. А ведь нам надо вывести начала трех разных фаз. Поэтому приходится отказаться от распределения выводов равномерно по окружности ротора и подбирать другие пазы с тем, чтобы сохранились условия электрической симметрии обмотки.

На рис. 121 показана схема этой обмотки, из которой видно, что начало первой фазы взято, как обычно, из 1-го паза. Начало второй фазы сдвинуто вправо на 16 пазовых делений и выходит из 17-го паза. Расстояние между началами первой и второй фазы составляет $16 \times 15 = 240$ электрических градусов, что удовлетворяет условиям электрической симметрии. Начало третьей фазы также сдвинуто на 16 па-

Рис. 121. Схема обмотки ротора с числом пар полюсов, кратным трем

вевых делений, но в другую сторону от 1-го паза. Оно выходит из 57-го паза. Если к 57 прибавить 16, получим 73. Из этого числа надо вычесть 72 и получим 1. Так мы убедились, что между началами первой и третьей фазы также 240 электрических градусов. Проверим угол между началами второй и третьей фаз. Для этого возьмем разность между номерами пазов, из которых начала этих фаз выходят: 57 — 17 = 40 пазовых делений, что соответствует углу 40 × 15 = 600 электрических градусов. Вычтем полную окружность и получим 600 — 360 = 240 электрических градусов. Таким образом, требования электрической симметрии выдержаны для всех трех фаз. Но начала фаз не будут распределены равномерно по окружности. Это отразится и на распределении концов фаз и перемычек. Неравномерность распределения выводов и перемычек для этой обмотки особенно наглядно показана на рис. 130, который представляет собой торцовую схему этой же обмотки.

Из рассмотрения этого примера можно перейти к выводу, что при числе пар полюсов, кратном 3 ($2p = 6$, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60), можно выдержать электрическую симметрию обмотки, подбирая расстояния между началами фаз в 120 или 240 электрических градусов плюс любое целое число полных электрических окружностей. Но у этих обмоток нельзя добиться равномерного распределения по окружности начал и концов фаз, а также перемычек. Поэтому при балансировке ротора потребуются большие балансировочные грузы, чтобы уравновесить смещение центра тяжести ротора.

## ОБМОТКИ С УДЛИНЕННЫМИ И С УКОРОЧЕННЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

Как было сказано ранее, волновые обмотки роторов выполняются с диаметральным шагом, за исключением одного шага при каждом обходе ротора, который делается удлиненным или укороченным. Чаще встречаются обмотки с укороченными переходами, так как в них достигается некоторая экономия меди и изоляционных материалов. Однако некоторые заводы применяют обмотки с удлиненными переходами из условий упрощения ремонта. При ремонте в процессе выравнивания концов стержней часть длины стержня срезается. В обмотках с удлиненными переходами стержни имеют некоторый запас длины, который используется при переходе на обмотку с укороченными переходами.

На рис. 122 показана схема волновой обмотки ротора со следующими данными: $z = 36$; $2p = 4$; $q = 3$. На схеме показаны соединения только в первой фазе. Каждая катушечная группа состоит из трех катушек, так как число пазов на полюс и фазу равно трем. Число катушечных групп равно числу полюсов, т. е. четырем. На схеме показаны начала и концы других фаз, а также перемычки этих фаз. Ввиду того, что число пар полюсов некратно трем, выводы и перемычки распределены равномерно по окружности. Для упрощения чтения схемы в местах разрывов лобовых



частей обмотки поставлены числа, обозначающие номера пазов, в которые лобовые части должны попасть после перехода с одного конца схемы на другой. Это ускоряет разбор схемы и уменьшает вероятность ошибок.

Эта схема выполнена с укороченными переходами, так как в конце каждого обхода диаметральный шаг обмотки 1—10 заменяется укороченным шагом 1—9. В обмотках с укороченными переходами каждый следующий обход смещается по сравнению с предыдущим влево. Поэтому по расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе видно, что эта обмотка с укороченными переходами. Начав обмотку с 1-го паза, мы перемещаемся в 36, а затем в 35-й паз.

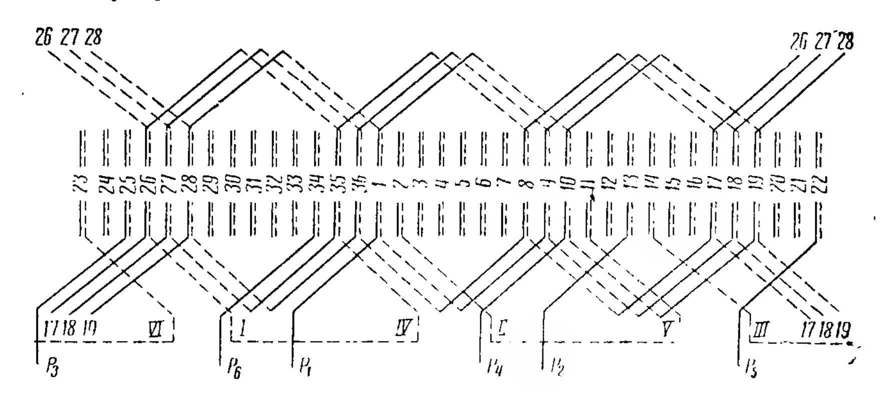


Рис. 122. Схема обмотки ротора с укороченными переходами

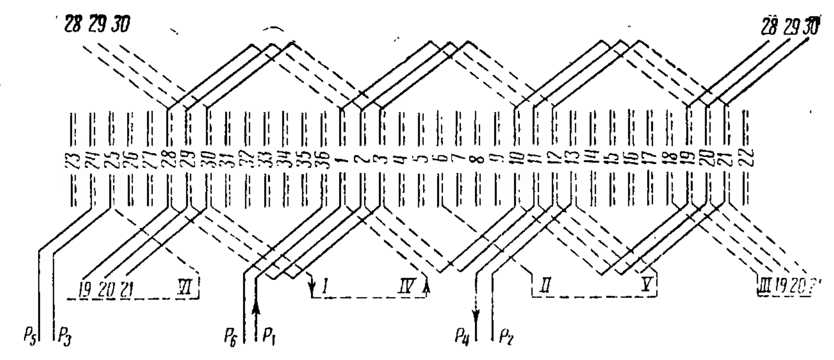


Рис. 123. Схема обмотки ротора с удлиненными и укороченными переходами

На рис. 123 показан другой вариант схемы для той же машины. Число пазов и число полюсов сохранились прежними, а следовательно, и число пазов на полюс и фазу. Поэтому по внешнему виду эти схемы очень похожи одна на другую. Но при внимательном рассмотрении мы увидим разницу между ними.

Прежде всего эта обмотка с удлиненными переходами, что видно по расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе. Обходя ротор, мы будем от 1-го паза смещаться в 2 и 3-й пазы. Но это не простая обмотка с удлиненными переходами. Сделав первые три обхода ротора, увидим, что после перемычки переходы становятся укороченными. Такой выбор переходов не нарушает условий симметрии обмотки. Преимущество же такой обмотки заключается в том, что в ней отсутствуют пересечения перемычек с выводами фаз. Это является более удобным при выполнении обмотки.

Мы уже знаем, что диаметральный шаг обмотки выражается формулой $y = \frac{z}{2p}$.

Но эту формулу можно выразить иначе, если в числитель вместо $z$ подставить его значение $z=2pmq$. Тогда формула примет такой вид:

$$y = \frac{2pmq}{2p} = mq.$$

В трехфазных обмотках число фаз $m=3$, поэтому можно написать, что $y=3q$. Таким образом, если известно число пазов на полюс и фазу, то шаг обмотки (диаметральный) можно определить, умножив $q$ на 3. Тогда укороченный шаг обмотки ротора будет $y_{укор}=3q-1$, а удлиненный шаг $y_{удл}=3q+1$.

Обычно в схемах волнового типа обход катушечных групп начинается от начала фазы по часовой стрелке, а после перемычки направление обходов изменяется на обратное, т. е. против часовой стрелки. Примерами могут служить схемы на рис. 119, 121, 122 и 123. Исключение представляет схема, показанная на рис. 120. В ней первые обходы сделаны против часовой стрелки, а после перемычки — по часовой стрелке. В таких схемах изменяется расположение начал фаз относительно катушечных групп. Принципиальной разницы между этими схемами нет. Схемы по типу рис. 120 встречаются довольно редко.

## КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕМЫЧЕК

Перемычки в роторных обмотках волнового типа выполняются различно. В машинах средней мощности перемычки или выгибаются из одного куска шины вместе с двумя нижними стержнями (рис. 124), или привариваются к этим стержням до укладки обмотки в пазы. В этом случае обмотка состоит из $z$ верхних стержней $(z-6)$, нижних стержней и трех перемычек со стержнями. Стержни с такими перемычками вкладываются в пазы первыми, а перемычки помещаются в выточке нажимной шайбы, как это показано на рис. 39.

В машинах большой мощности перемычки припаивают к стержням при помощи соединительных хомутиков после



укладки стержней в пазы. В этом случае для обмотки ротора заготовляют $z$ верхних стержней и $z$ нижних стержней, из которых к шести припаивают перемычки.

В обоих случаях наличие перемычек усложняет выполнение обмотки. Поэтому на некоторых электромашиностроительных заводах применяют обмотки роторов, в которых перемычки отсутствуют. В таких обмотках поворот в каждой фазе осуществляется при помощи стержня, переходящего в пазу из одного слоя в другой. На рис. 125, *б* показан в разрезе паз, в котором лежит переходный стержень *1*. Образовавшиеся пустые места заполнены отрезками обмоточного провода *2*, которые вкладывают в паз для устранения перемещений стержня в пазу и смещения центра тяжести ротора.

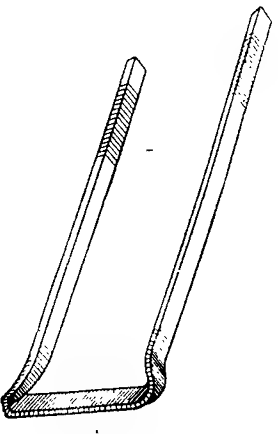


Рис. 124. Перемычка, выгнутая из шины вместе со стержнями

На рис. 125, *а* дана схема обмотки двигателя с переходными стержнями, в которой перемычки отсутствуют, что упрощает изготовление обмотки. Второе преимущество этой схемы заклю-

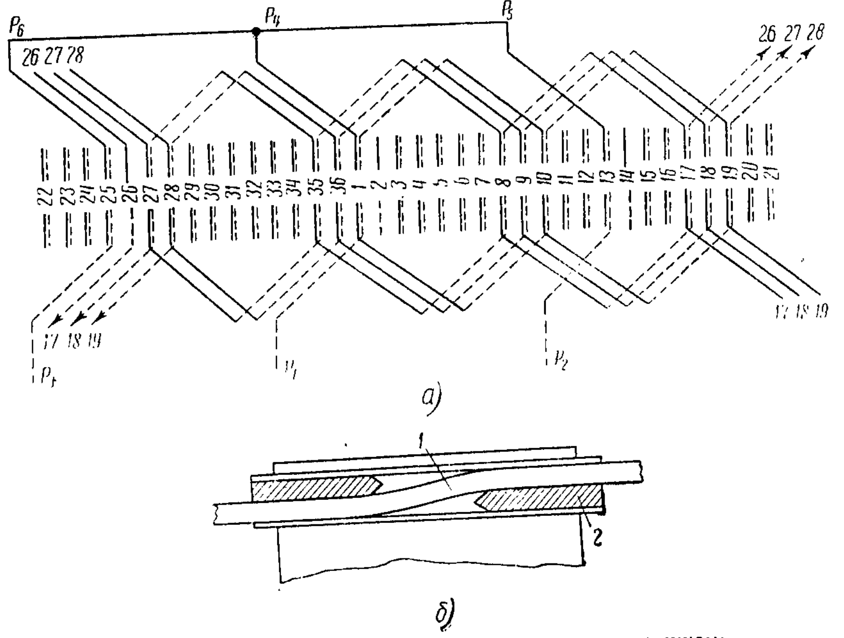



Рис. 125. Обмотка ротора с переходным стержнем:
*а* — схема обмотки, *б* — переходный стержень

чается в том, что начала фаз, которые подводятся к контактным кольцам, выходят из нижнего слоя обмотки, а не из верхнего, как во всех предыдущих схемах. Поэтому соединительные пластины не надо пропускать между стержнями нижнего слоя и все хомутики располагаются симметрично по окружности.

Проследим соединения стержней в первой фазе. Начало фазы лежит в 1-м пазу, но не в верхнем слое, как во всех других схемах, а в нижнем. Как видно по расположению начала фазы относительно первой катушечной группы, эта обмотка выполняется с укороченными переходами и последний шаг в каждом обходе 1—9, а не 1—10. Сделав первые три обхода, приходим к стержню *26*, который является переходным в первой фазе. Он начинается в верхнем слое и на середине ротора переходит в нижний слой. В таких обмотках переходный стержень в каждой фазе сдвинут относительно начала фазы на $\left(\frac{2z}{3p}-1\right)$ пазов в направлении, обратном ходу обмотки. Определим положение переходного стержня в первой фазе. Сдвиг стержня относительно начала фазы будет на $\frac{2\cdot 36}{3\times 2}-1=12-1=11$ пазов. Положение переходного стержня будет в $36+1-11=26$-м пазу, как это видно на схеме. Переходный стержень второй фазы будет в $13-11=2$-м пазу, а третьей фазы в $25-11=14$-м пазу. Соединение концов фаз в звезду выполняется на противоположной стороне ротора. При наличии переходных стержней получается небольшое нарушение симметрии, но в допустимых пределах.

## ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Число пазов на полюс и фазу в роторных обмотках не всегда бывает целым числом. Встречаются и дробные числа пазов на полюс и фазу, которые чаще всего выражаются целым числом с половиной. Обмотки с дробным $q$ приходится применять в тех случаях, когда при одном и том же штампе для листов ротора выпускаются двигатели с разными скоростями вращения. Например, асинхронный двигатель, имеющий синхронную скорость вращения 3000 об/мин и 30 пазов на роторе, требуется перемотать на меньшую скорость вращения 1500 об/мин. Согласно табл. 5 двигатель при $n=3000$ об/мин имеет два полюса. Следовательно, число пазов на полюс и фазу у такого двигателя будет $q=\frac{30}{2\times 3}=5$.

Для уменьшения скорости вращения до 1500 об/мин надо увеличить число полюсов во столько же раз, т. е. вдвое. Поэтому у двигателя на 1500 об/мин $2p=4$, а $q=\frac{30}{4\times 3}=2,5$.

На рис. 126 показана схема волновой обмотки такого двигателя.



В обмот. х с дробным $q$ приходится различать шаги со стороны выводов и с противоположной стороны ротора, так как они должны быть различными. Шаги выбираются по следующим формулам:

шаг со стороны противоположной выводам $y_1=3q\pm 0,5$

шаг со стороны выводов $y_2=3q\mp 0,5$

Расположение знаков + и — в формулах показывает, что если в одной формуле берут знак +, то в другой надо брать знак — и наоборот.

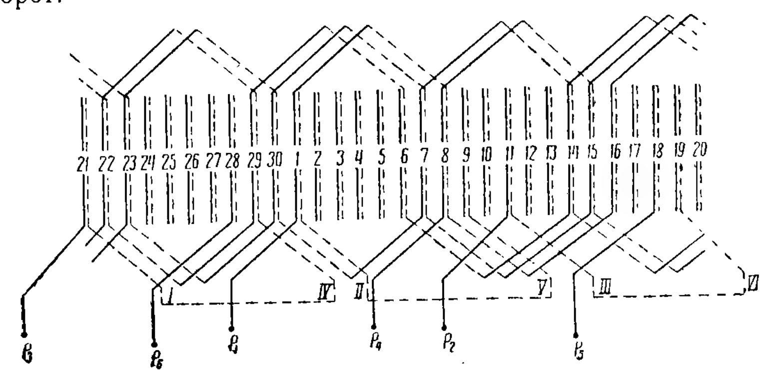



Рис. 126. Схема обмотки ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу

Для обмотки на схеме рис. 126 взяты шаги $y_1=3\times 2,5-0,5=7$, $y_2=3\times 2,5+0,5=8$. Кроме того, в конце каждого обхода берется укороченный переход с шагом $y_3=y_2-1=7$.

В обмотках с $q$, равным целому числу с половиной, приходится делать $q-0,5$ обходов в одном направлении, и $q+0,5$ обходов в другом направлении. Как видно на схеме, катушечные группы здесь неодинаковые: одни состоят из двух катушек, а другие — из трех, что в среднем дает требуемое $q=2,5$.

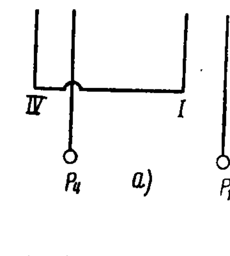
## РОТОРНЫЕ ОБМОТКИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ВЕТВЯМИ

В предыдущих схемах катушечные группы в фазах соединялись всюду последовательно. При больших токах ротора может появиться необходимость в параллельном соединении. При целом $q$ каждая фаза обмотки разделена перемычкой на две одинаковые части. Поэтому переход от последовательного соединения к соединению в две параллельные ветви легко осуществить, соединив параллельно обе части каждой фазы.

На рис. 127, *а* показано расположение начала первой фазы, конца фазы и перемычки этой фазы при последовательном соединении. Если разорвать перемычку и соединить вывод, идущий к перемычке и обозначенный *I* с концом фазы $P_4$, а вывод, обозначенный *IV* с началом фазы $P_1$, то обе части фазы будут соединены в две параллельные ветви (рис. 127, *б*), причем на-

правления токов в стержнях сохра...ся прежними и поэтому число полюсов обмотки останется без изменения.

На рис. 128 показаны схемы роторных обмоток с укороченными и удлиненными переходами при соединении фаз в звезду с последовательным и параллельным соединением катушечных групп в каждой фазе. Пользуясь этими схемами, можно быстро и правильно производить соединения выводов в зависимости от требуемой схемы соединений.



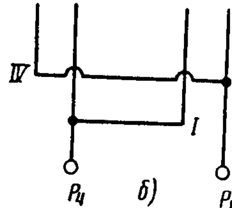




Рис. 127. Соединение двух частей фазы обмотки:
*а* — последовательное, *б* — параллельное

Следует отметить, что при дробном $q$ каждая фаза разделяется на две неодинаковые части. Так, например, на схеме рис. 126 видно, что в первой фазе по одну сторону от перемычки включено 8 стержней, а по другую — 12 стержней. Поэтому соединять их параллельно нельзя. В случае необходимости параллельного соединения в обмотках с дробным $q$ приходится прибегать к более сложным схемам с двумя перемычками в каждой фазе.

## ОБМОТОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Всякую схему можно заменить таблицей соединений, в которой числами, выражающими номера пазов, показаны все соединения между стержнями. При помощи этих же таблиц можно определить расположение концов фаз и перемычек, задавшись расположением начал фаз.

Начала фаз при числе пар полюсов, не кратном 3, располагают равномерно по окружности ротора. При числе пар полюсов, кратном 3, начало второй фазы сдвигают на $2q$ пазов назад, а начало третьей фазы на $2q$ пазов вперед (см. рис. 121).



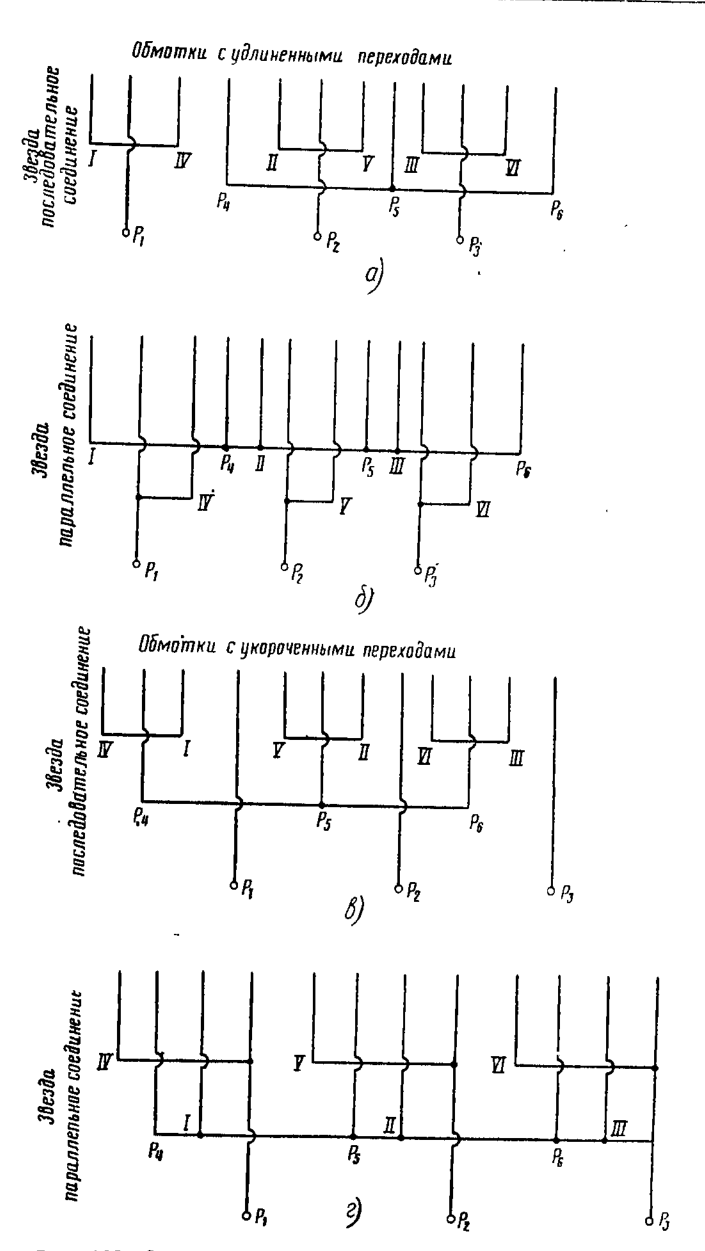



Рис. 128. Схемы соединений выводов фаз и перемычек:
*а* — удлиненные переходы, соединение в звезду последовательное, *б* — удлиненные переходы, соединение в звезду параллельное, *в* — укороченные переходы, соединение в звезду последовательное, *г* — укороченные переходы, соединение в звезду параллельное

В каждом пазу лежат два стержня, обозначаемые в таблицах одним и тем же номером паза, в котором они расположены. На схемах верхние и нижние стержни обозначаются условными линиями: сплошной линией — верхний стержень и пунктирной линией — нижний. В таблицах около номеров ставят буквы: *в* — для верхнего стержня и *н* — для нижнего. Таблицы составляют для каждой фазы отдельно. Таблица содержит число вертикальных столбиков, равное числу полюсов, и число строк, равное удвоенному числу пазов на полюс и фазу.

Ниже приводится таблица соединений для обмотки, схема которой изображена на рис. 119. Сравнивая таблицу со схемой, можно легко усвоить правила составления таблиц. В этой обмотке $2p = 4$ и $q = 2$, поэтому таблица каждой фазы состоит из четырех столбиков и четырех строк.

**Таблица соединеиий к схеме рис. 119**

| *I* фаза | *II* фаза | *III* фаза |
|---|---|---|
| $P_1$—1в— 7н—13в—19и | $P_2$—9в—15н—21в— 3н | $P_3$—17в—23н— 5в—11н |
| 24в— 6н—12в—18н | 8в—14н—20в— 2н | 16в—22н— 4в—10н |
| перемычка | перемычка | перемычка |
| 24н—18в—12н— 6в | 8н —2в—20н—14в | 16н—10в— 4и—22н |
| 1н—19б—13н— 7в—$P_4$ | 9н— 3в—21н—15в—$P_5$ | 17н—11в— 5н—23в—$P_6$ |

Читать такую таблицу надо горизонтальными строчками. Так, например, из таблицы видно, что, взяв начало первой фазы из 1-го паза, надо соединять стержни верхнего и нижнего слоя в таком порядке: 1в с 7н, 7н с 13в, 13в с 19н, 19н с 24в (укороченный шаг), 24в с 6н, 6н с 12в, 12в с 18н и 18н с 24н (перемычка).

После перемычки показаны шаги в обратном направлении для второй части *I* фазы.

## ТОРЦОВЫЕ СХЕМЫ ОБМОТОК РОТОРА

Схемы-развертки, приведенные выше, служат для сравнения различных типов обмоток. На них обычно показывают соединения стержней только в одной из фаз, так как если начертить полную схему, то она перестанет быть наглядной и в большом количестве проводов легко запутаться, делая обходы по соединениям стержней в лобовых частях. Особенность волновых обмоток ротора заключается в том, что обмотчику приходится выгибать после укладки стержней в пазы их лобовые части и соединять хомутиками верхние стержни с нижними. Это еще относительно легко выполнить на стороне, противоположной выводам, так как там все верхние стержни соединяются с нижними. Достаточно правильно соединить одну пару стержней, как другие будут соединяться подряд и поэтому не нужно при каждом соединении



проверять шаг обмотки. Значительно труднее выполнять соединения на стороне выводов. Здесь шесть стержней нижнего слоя соединяются перемычками и не участвуют в соединении со стержнями верхнего слоя. В свою очередь от стержней верхнего слоя делаются выводы начал и концов фаз. Разные длины переходов требуют правильного расположения удлиненных или укороченных стержней. Схема-развертка с соединениями в одной фазе мало помогает обмотчику, так как соединения надо делать не по фазам, а подряд, по всей окружности ротора. Для практического пользования гораздо удобнее торцовые схемы.

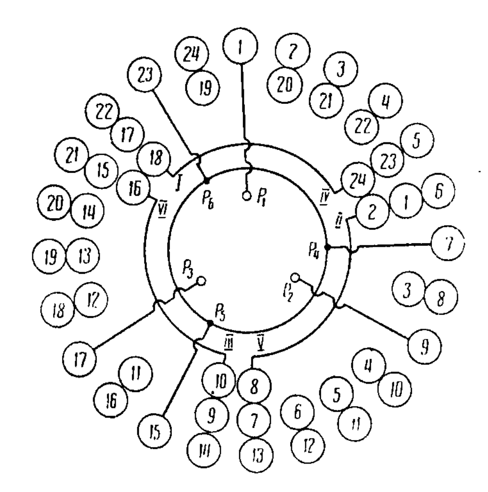


Рис. 129. Торцовая схема обмотки ротора

Торцовая схема представляет собой вид на торец обмотанного ротора со стороны выводов (рис. 129). Стержни пронумерованы теми же номерами, что и пазы, в которых они лежат, но стержни верхнего и нижнего слоя сдвинуты относительно друг друга по шагу обмотки. На каждом радиусе расположены те стержни, которые требуется соединить хомутиком. Стержни, соединяемые перемычками, вынесены в третий слой ближе к центру схемы. В середине схемы показано соединение концов фаз в звезду и расположение выводов от начал фаз, соединяемых с контактными кольцами.

Ниже приводятся примеры построения торцовых схем. В качестве примеров взяты обмотки, развернутые схемы которых были приведены ранее. Так торцовая схема (рис. 129) с числом пар полюсов, не кратным 3, соответствует развернутой схеме на рис. 119; торцовая схема (рис. 130) с числом пар полюсов, кратным 3, соответствует развернутой схеме на рис. 121; торцовая схема (рис. 131) с дробным числом пазов на полюс и фазу соот-

ветствует развернутой схеме на рис. 126. Сопоставление этих схем поможет лучше усвоить правила их построения.

Для построения торцовой схемы надо провести две окружности, по которым расположатся стержни верхнего и нижнего слоев. Стержни на схемах изображены кружками, так как это по-

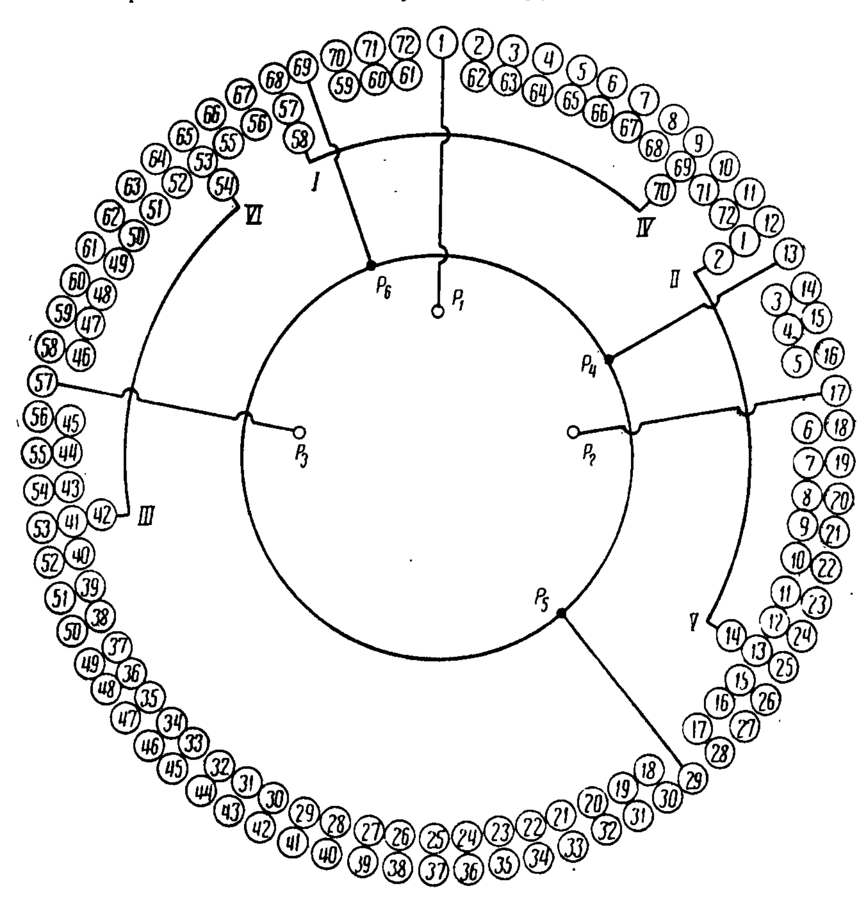



**Рис. 130. Торцовая схема обмотки ротора с числом пар полюсов, кратным трем**

зволяет начертить схему, пользуясь только циркулем. Диаметр кружка следует взять от 6 до 10 *мм* в зависимости от размеров листа бумаги. Диаметр внутренней окружности можно рассчитать по следующей формуле:

$$D_2 = \frac{d \cdot z}{3{,}14},$$

в которой $d$ — диаметр кружка, а $z$ — число пазов.

Диаметр наружной окружности будет:

$$D_1 = D_2 + 2d.$$



Диаметр окружности, на которой располагаются стержни, соединяемые перемычками

$$D_3 = D_2 - 2d.$$

Теперь надо окружность диаметром $D_2$ разделить циркулем на $z$ частей и провести $z$ тонких радиальных линий, которые пересекут все три окружности. На наружной окружности надо начертить $z$ кружков и занумеровать их подряд в направлении часовой стрелки. Первый стержень обычно располагают в верхней части окружности и от него ведут счет. По расчету обмотки берем номера пазов, из которых выходят начала и концы фаз. Проводим толстые радиальные линии и обозначаем их буквами $P_1$, $P_2$ и т. д. Концы фаз $P_4$, $P_5$ и $P_6$ соединяем окружностью в общую точку звезды, а начала фаз $P_1$, $P_2$ и $P_3$ оставляем свободными для соединения с контактными кольцами.

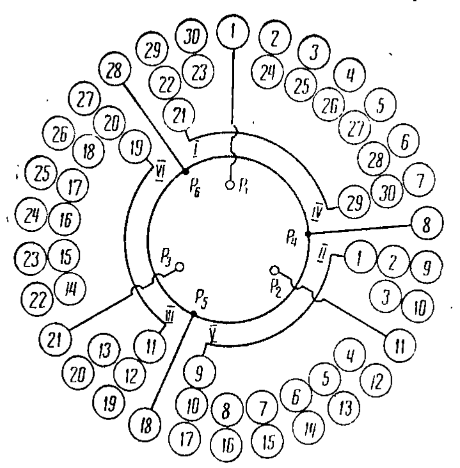



Рис. 131. Торцовая схема обмотки ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу

Самой ответственной частью построения торцовой схемы является определение сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоя. Если ошибиться в определении первого стержня нижнего слоя, то вся схема будет неверной. Поэтому надо внимательно отнестись к нумерации стержней нижнего слоя.

Рассмотрим это на примере схемы рис. 129. По схеме рис. 119, которая изображает ту же самую обмотку, нам известно, что эта схема с укороченными переходами. По расчету схемы найдем номера пазов 1, 9, 17, 7, 15, 23-й, из которых выходят начала и концы фаз в верхнем слое стержней. Теперь надо определить, где будет расположен стержень *1* нижнего слоя. Обратимся к таблице соединений на стр. 218. Стержень 1н мы найдем в последней строке первой фазы. Он помещается между стержнями 6в и 19в. Чтобы знать, с каким стержнем верхнего слоя должен быть соединен стержень *1* нижнего слоя, надо из таблицы соединений взять тот стержень верхнего слоя, с которым 1н соединяется шагом со стороны выводов, так как торцовая схема — это вид на ротор со стороны выводов. Схема соединений начинается с шага со стороны, противоположной выводам. Этот шаг будет первым в каждой строке. Таким образом, соединение

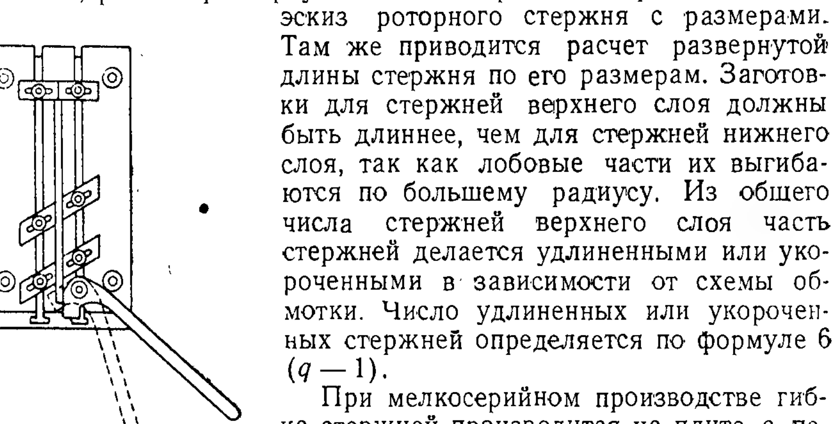
1н—19в производится со стороны, противоположной выводам. Значит, со стороны выводов 1н соединен с 6в. Поэтому в нижнем слое стержень 1н должен находиться под 6в, что мы и видим на торцовой схеме рис. 129.

Для определения сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоя можно было и не составлять полной схемы соединений, а взять только один шаг со стороны выводов. Таким шагом в начале таблицы соединения будет шаг 7н—13в. Это показывает, что под стержнем *13* верхнего слоя лежит стержень *7* нижнего слоя. Можно было бы вести счет стержней нижнего слоя от стержня **7**.

Теперь начнем нумерацию стержней нижнего слоя тоже по часовой стрелке. Но шести стержням на этой окружности не хватит места, так как они заняты выводами от начал и концов фаз. Поэтому шесть номеров надо перенести на третью окружность и соединить их перемычками. Номера этих стержней мы узнаем из таблицы. На схеме эти номера надо расположить под номерами соседних номеров нижнего слоя. На схеме рис. 129 видно, что стержень *2* со второй окружности перенесен на третью. Следующим номером стержня этой фазы будет 8. Его мы соединим перемычкой со стержнем *2*. Аналогично нанесем две другие перемычки.

## ГИБКА И ИЗОЛИРОВКА СТЕРЖНЕЙ

Прежде чем сделать заготовку стержней, надо нарезать куски шин, равные развернутой длине стержня. На рис. 3 показан эскиз роторного стержня с размерами. Там же приводится расчет развернутой длины стержня по его размерам. Заготовки для стержней верхнего слоя должны быть длиннее, чем для стержней нижнего слоя, так как лобовые части их выгибаются по большему радиусу. Из общего числа стержней верхнего слоя часть стержней делается удлиненными или укороченными в зависимости от схемы обмотки. Число удлиненных или укороченных стержней определяется по формуле 6 $(q-1)$.



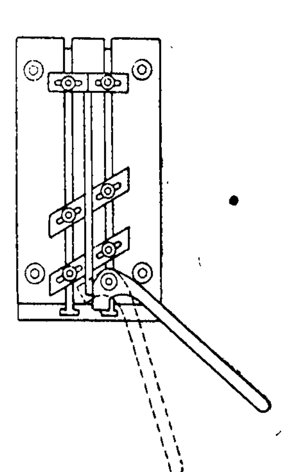


Рис. 132. Приспособление для гибки стержней

При мелкосерийном производстве гибка стержней производится на плите с переставными упорами при помощи рычага (рис. 132).

При крупносерийном производстве применяют более сложные гибочные приспособления (рис. 133). Стальной корпус приспособления *4* в верхней части обработан по радиусу поверхности, на которой уложены стержни на роторе. К корпусу



Рис. 133. Приспособление для гибки стержней

привинчены накладки *2* и *3*, между которыми образуется щель на 0,2 *мм* бо́льшая, чем толщина стержня. В эту щель вкладывается прямолинейная заготовка стержня до упора в фаску головки винта *1*. Затем поворотом первого рычага вокруг оси загибают конец стержня, причем сверху он перекрывается выступом рычага. После этого, взяв рукой свободный конец стержня, прижимают его к цилиндрической поверхности корпуса, а другой рукой вращают второй рычаг, который делает второй изгиб стержня, прижимая его к накладке *3*. Так в приспособлении совершается загибка стержня в двух точках и изгиб лобовой части по винтовой линии. Для облегчения выемки стержня из приспособления служит третий рычаг, который поддерживается пружиной *6*, находящейся в колпачке *5*. Этот рычаг находится под накладкой *3*, а конец его с выступом образует продолжение накладки *2*. При отпускании рычага стержень легко вынимается из приспособления.

Приспособление, показанное на рис. 133, хотя и обеспечивает правильные размеры стержня, но при работе на нем еще сохраняется ручной труд. В целях механизации гибки стержней применяются механизированные гибочные станки, приводимые в действие пневматическими цилиндрами. На рис. 134 показан гибочный станок завода им. Владимира Ильича. На плите станка закреплены два пневматических цилиндра, из которых один *4* с горизонтальным, а другой *1* с вертикальным ходом поршня. Прямолинейную заготовку стержня *3* вставляют до упора в щель между сухарями штампа. Пуансон получает от цилиндра *1* перемещение вниз и выгибает лобовую часть стержия по заданному радиусу. Другой цилиндр приводит в движение зубчатую рейку 7, которая вращает коромысло *6*. Коромысло своими штырями поворачивает рычаги *2* и *5* штампа *8*, отгибающие прямолинейные участки стержня. Затем пуансон и рычаги штампа поворотом ручки воздухораспределителя возвращаются в исходное положение для гибки следующего стержня. Конструкция гибочного станка предусматривает гибку стержней верхнего и нижнего слоя. Для ограничения хода зубчатой рейки в зависимости от конфигурации стержня и размеров лобовой части служат два упора, закрепленные в плите станка. При переходе к стержням других размеров нужно заменить гибочные штампы. Введение механизированной гибки стержней позволило полностью исключить ручной труд и значительно повысить производительность труда и качество работы.

По окончании гибки приступают к изолировке стержней. Лобовые части стержней изолируют лентами внахлестку. Пазовые части стержней изолируют путем обертывания несколькими слоями бакелизированной бумаги при изоляции класса А и микафолием при изоляции класса В. Сначала производят изолировку лобовых частей. В зависимости от масштабов производства изолировку выполняют вручную или на изолировочном станке (см. рис. 32).



Изолировка пазовых частей производится обертыванием широкой полосой изоляционного материала в несколько слоев. Чтобы избежать утолщения изоляции в месте стыков с лентой лобовых частей, полосу материала с обеих сторон срезают наискось, как

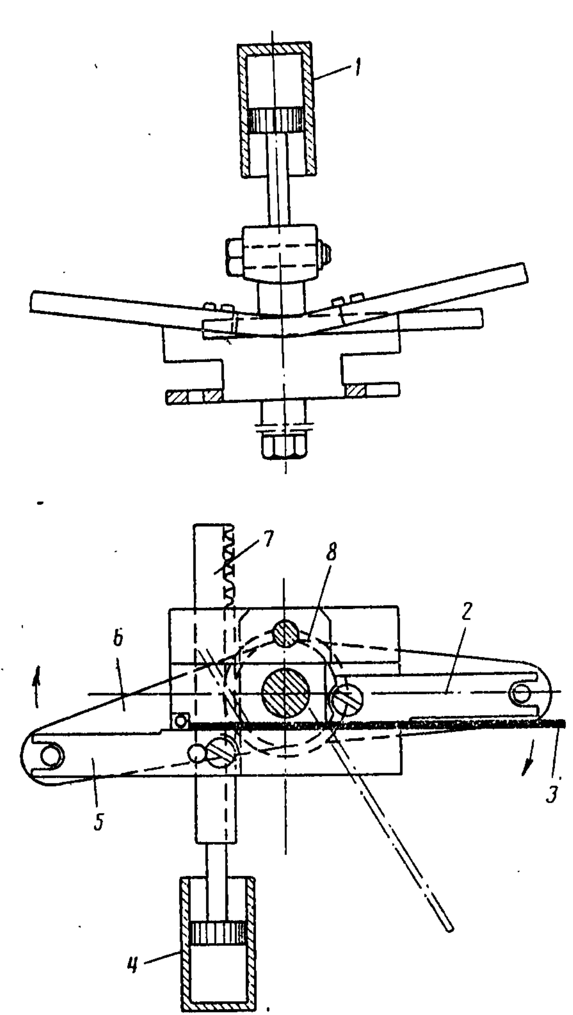



Рис. 134. Схема станка для гибки стержней

показано на рис. 135. Вследствие этого в той части, где полоса ложится на изоляцию лобовых частей, получается меньше слоев изоляции, чем в пазовой части. Навертывание изоляционной полосы производят в приспособлении, представляющем собой доску, на которой прибита деревянная планка. Доска и планка обиты белой жестью. Предварительно конец полосы смазывают бакели-

товым лаком и, приклеив ее к стержню, прижимают стержень левой рукой к планке приспособления и начинают вращать его правой рукой за отогнутую лобовую часть. Конец полосы также подклеивают бакелитовым лаком. Для того чтобы уплотнить слои изоляции по всему периметру сечения стержня, производят обкатку изолированных стержней и стержень помещают между двумя плитами из прокатанной стали (рис. 136). Плита *1* неподвижна; к ней прикреплен нагреватель со спиралями *2*, питаемыми электрическим током. Плита *6* служит утюгом и вращается вокруг шарнира *5*. Плиты стянуты двумя болтами *3* с пружинами *4*. Длина плит должна быть несколько более изолированной части стержня. В процессе обкатки стержень вращается между плитами. Для этого отогнутый конец стержня вставляют в прорезь планшайбы, вращаемой электродвигателем.

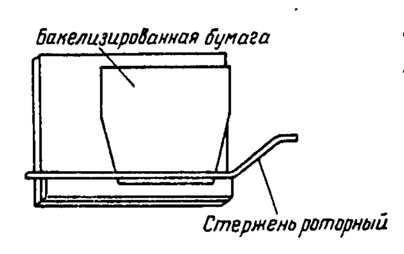



Рис. 135. Изолировка пазовой части стержня

Опрессовку пазовой изоляции после обкатки производят в горячих прессах между коробчатыми планками. В пресс закладывают несколько стержней. При нагревании клеящий лак разжижается и происходит испарение растворителя. Этот процесс называется *выпечкой* изоляции стержней. В таком состоянии стержни выдерживают под прессом до остывания.

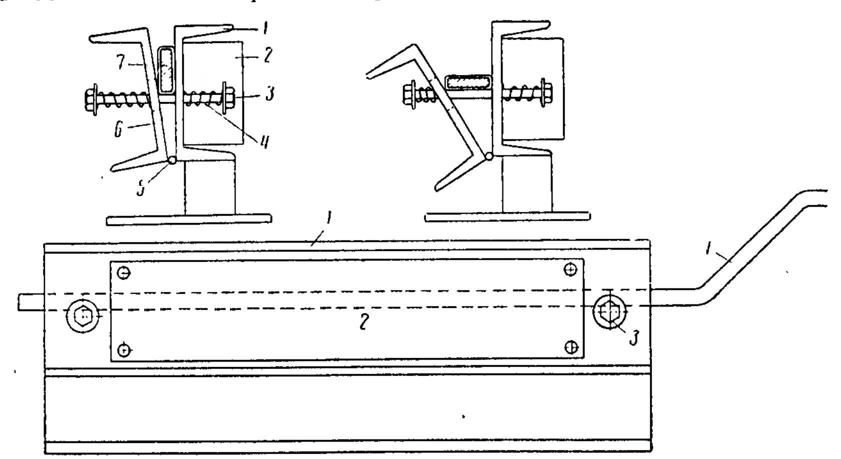



Рис. 136. Станок для обкатки стержней

В последнее время вместо изолировки роторных стержней микафолием стали применять новый изоляционный материал *стеклоэскапоновую лакоткань*, представляющую собой стеклянную ткань, пропитанную и покрытую слоем эскапонового лака. Лобовые части стержней изолируют лентой из стеклоэскапоновой лакоткани. Поверх этой ленты наматывают один слой тафтяной ленты. Пазовую часть стержня изолируют широкой полосой эскапонового стеклофолия, который получается путем нанесения на стеклоэскапоновую лакоткань слоя бакелитового и слоя глифталиевого лака. Заготовку стеклофолия вырезают такой же формы, какая показана на рис. 135, и обертывают вокруг стержня вручную. Направление обертывания должно совпадать с направлением намотки лент на лобовых частях. Под последние пол-оборота стеклофолия подкладывают полосу телефонной бумаги лакированной стороной к стержню, которой делается полтора-два оборота вокруг стержня. После наложения изоляции стержень обертывают тремя слоями кабельной бумаги. Она служит защитой от повреждения изоляции при обкатке. Слои лака на эскапоновом стеклофолии и телефонной бумаге при вращении стержня между горячими плитами с температурой 190—210° размягчаются и в результате этого слои изоляции уплотняются и склеиваются между собой и с поверхностью стержня. Обкатку продолжают в течение 6—8 мин., после чего стержень вынимается из обкаточных плит и в горячем состоянии помещается под пресс между пресс-планками; там в обжатом состоянии стержни охлаждаются путем обдувания воздухом.

Стеклоэскапоновая изоляция значительно надежнее, чем применявшаяся ранее микафолиевая изоляция.

## ГИБКА СТЕРЖНЕЙ НА РОТОРЕ

Стержни роторной обмотки поступают на укладку в пазы только с одной изогнутой лобовой частью. Поэтому после укладки в пазы производят гибку вторых концов стержней. Для защиты изоляции стержней в пазы вкладывают гильзы из электрокартона толщиной 0,3 *мм*. Если перемычки выполнены из одного куска шины вместе с двумя стержнями (рис. 124), то обмотка ротора начинается с установки стержней с перемычками, которые вставляют в пазы со стороны выводов. Перемычки углубляются в канавки, проточенные в нажимных шайбах ротора, как показано на рис. 39. Поверх перемычек наматывают полосы электрокартона и затягивают киперной лентой. Затем приступают к укладке остальных стержней нижнего слоя. Уложенные стержни осаживают на дно паза клиновидными деревянными оправками. Изогнутые по винтовой линии лобовые части стержней осаживают на изолированную поверхность обмоткодержателей деревянными молотками через фибровую или текстолитовую прокладку. Концы изогнутых лобовых частей стягивают мягкой стальной проволокой, плотно прижимая их к обмоткодержателям. Второй проволочный бандаж наматывают посередине лобовых частей. Эти бан-

даже являются временными и служат для удержания стержней в процессе дальнейшей гибки лобовых частей.

После этого приступают к гибке лобовых частей со стороны, противоположной выводам. Гибку стержней производят при помощи двух ключей, показанных на рис. 137. Ключ *а* берут в левую руку и зевом надевают на прямую часть стержня, выходящую из паза. Ключ *б* берут в правую руку, надевают на лобовую часть стержня и подводят вплотную к ключу *а*. Ключом *б* делают изгиб стержня под требуемым углом.

а

б

Рис. 137. Ключи для гибки стержней на роторе

Но первые стержни нельзя сразу изогнуть на требуемый по схеме угол. Это объясняется тем, что рядом с ними лежат прямые части соседних стержней. Поэтому первый стержень удается изогнуть только на величину расстояния между стержнями, второй — на двойное расстояние, третий — на тройное и т. д. Только после изгиба стержней, занимающих два-три шага обмотки, будет возможна гибка остальных стержней на требуемый по схеме угол. Последними получают дополнительный изгиб те стержни, с которых был начат процесс гибки.

Затем производят загибку концов стержней, на которые будут надеваться соединительные хомутики. Эту операцию выполняют теми же ключами. После загибки концов снимают временные бандажи, на лобовые части накладывают изоляцию между слоями лобовых частей, указанную в чертеже, и в пазы кладут прокладки между стержнями верхнего и нижнего слоя.

После этого в пазы вставляются стержни верхнего слоя со стороны, противоположной выводам. Когда все верхние стержни вложены в пазы, на стороне ротора, противоположной выводам, наматывают временные бандажи, а концы стержней на этой стороне соединяют тонкой медной проволокой для первого испытания обмотки на отсутствие замыканий на корпус.

Если изоляция стержней выдержит испытание, то производят загибку концов верхних стержней со стороны выводов, аналогичную загибке стержней нижнего слоя с той лишь разницей, что изгиб стержней делают в противоположную сторону. На загнутые лобовые части верхних стержней также ставят два временных бандажа, которыми верхние стороны лобовых частей прижимают к изоляции, лежащей между верхними и нижними стержнями.

Ввиду того что в шести пазах нижнего слоя лежат стержни, соединенные перемычками, число стержней, подлежащих соединению в верхнем и нижнем слоях обмотки, будет неодинаково. Число стержней верхнего слоя равно числу пазов $z$, а число



стержней нижнего слоя будет $z$—6. Из шести стержней верхнего слоя три соединяют с кольцом, при помощи которого осуществляется соединение трехфазной обмотки в звезду, а три других соединяют с контактными кольцами.

В процессе изготовления обмотки производят испытание изоляции обмотки на корпус. Для этого ротор передают на испытательную станцию. Один электрод от высоковольтного трансформатора присоединяют к одному из стержней обмотки, а другой — к зубцу ротора или к валу, и так как все стержни соединены между собой медной проволокой, одновременно производятся испытания электрической прочности изоляции всех стержней.

## СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ХОМУТИКИ

Соединение стержней верхнего и нижнего слоя производится при помощи паяния или сварки. Перед паянием стержни попарно соединяют при помощи медных хомутиков, которые сгибают из медной полосы на оправке так, что конец ленты перекрывает начало по одной или двум сторонам периметра хомутика. Не следует навивать хомутик из большого числа слоев ленты, потому что такие хомутики плохо пропаиваются. Слои стержней разделены изоляцией, концы их не могут плотно прилегать один к другому. Поэтому между ними в хомутиках забивают медные клинышки.

Для получения надежного соединения стержней необходимо, чтобы они плотно охватывались хомутиком, а зазоры между хомутиком и стержнями были минимальными. Но при забивании клинышков хомутики из тонкой медной ленты разгибаются и не могут плотно охватывать концы стержней, а для надежного соединения стержней применяют хомутики, получающиеся путем сдавливания медной трубки, диаметр которой подбирается так, чтобы она плотно охватывала стержни. Для каждого размера стержня приходится выбирать разные трубки.

Конструкция соединительного хомутика показана на рис. 138. Он штампуется из медной полосы толщиной в 1,5—2 *мм*. Линия разъема между заготовками хомутиков имеет фигурную форму, и после штамповки один конец хомутика имеет выступ в виде кружка, а другой конец — впадину такой же формы. После загиба его выступ входит во впадину и образуется замок, который не дает хомутику разгибаться. На боковой стороне хомутика выштампована продольная щель, служащая для лучшего затекания припоя внутрь его. Хомутики такой конструкции избавляют от необходимости получать медные трубки различных размеров.

Паяние концов стержней с хомутиком ранее производилось вручную при помощи паяльников. Но эта операция занимала много времени и связана с большим расходом припоя. Поэтому для паяния концов роторной обмотки применяют кольцевые ванны, в которых находится расплавленный припой. Перед пая-

нием все соединения обмотки промазывают флюсом, состоящим из раствора канифоли в спирту или бензине. На ротор надевают специальный хомут (рис. 139) и при помощи крана опускают его в ванну в вертикальном положении. Паяние производится путем погружения концов обмотки в ванну с припоем. Пропаяв одну сторону ротора, его вынимают из ванны и, поворачивая ротор в хомуте, аналогично производят паяние другой стороны. После

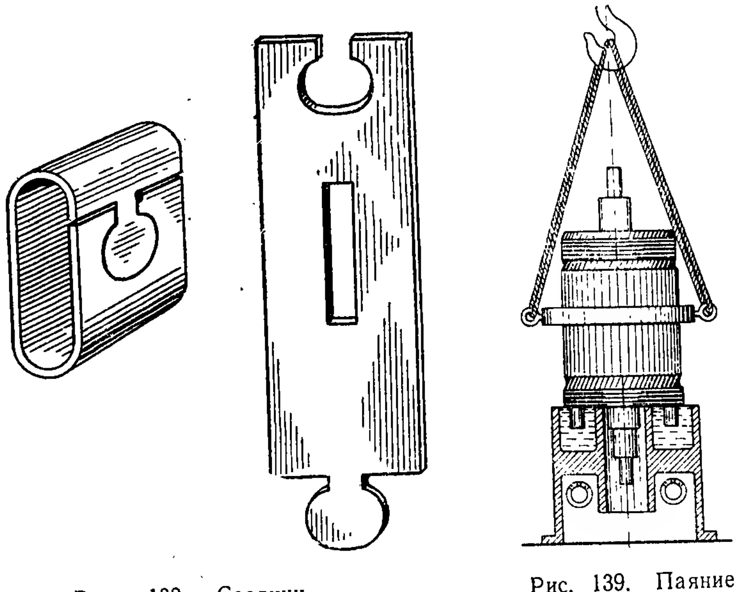


Рис. 138. Соединительный хомутик

Рис. 139. Паяние ротора в ванне

того как ротор вынут из ванны, между хомутиками забивают деревянные клинья и торцы стержней протачивают на токарном станке. Если после проточки обнаружится, что в отдельных соединениях остались непропаянные щели, их паяют вручную при помощи паяльника. Для охлаждения машины на торцах ротора устанавливают вентиляционные крылышки (см. рис. 39). Обычно эти крылышки представляют собой одно целое с соединительным хомутиком. Хомутики с крылышками пропаивают отдельно при помощи паяльника.

## ПАЯНИЕ ТВЕРДЫМИ ПРИПОЯМИ И СВАРКА РОТОРНЫХ ОБМОТОК

В процессе работы асинхронного двигателя обмотка ротора нагревается. Нагрев усиливается при частых пусках двигателя, так как при пуске по его обмотке протекает большой ток. В роторах с теплостойкой изоляцией стержней слабым местом являются паяные соединения концов стержней. Место паяния всегда имеет повышенное электрическое сопротивление по сравнению



с целым стержнем. Поэтому места паяния при протекании тока нагреваются сильнее. В электродвигателе, работающем с большим числом пусков, места паяния могут нагреваться настолько, что припой размягчается и под действием центробежной силы выбрызгивается из хомутиков; при этом появляется искрение и концы стержней обгорают.

Чтобы обеспечить надежность соединения стержней, применяют паяние твердыми припоями или сварку. При паянии твердыми припоями применяют фосфористую бронзу. Концы стержней охватывают медными хомутиками, а в щели между боковыми сторонами стержней и хомутиком вкладывают пластинку припоя. Для нагрева мест паяния применяют щипцы с угольными электродами. Во время паяния твердыми припоями тепло выделяется в основном только в месте паяния. Так как процесс происходит быстро, тепло не успевает распространиться вдоль стержня. Поэтому изоляция стержней не подвергается сильным нагревам.

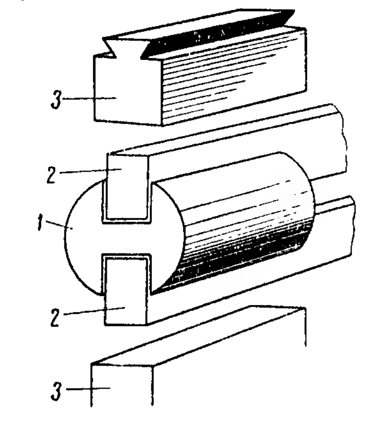



Рис. 140. Паяние стержней ротора твердым припоем

На рис. 140 показан другой способ паяния стержней твердым припоем. Между стержнями *2* вставляется распорка *1* из электролитической меди. Она представляет собой цилиндрический стержень с профрезерованными в ней канавками. Ширина канавки равна толщине стержня роторной обмотки. Пластинки твердого припоя с фосфористой бронзой вкладывают в эти канавки под концы стержней, а стержни обмотки зажимаются между электродами *3* специальной паяльной головки с пневматическим зажимом. Через место паяния пропускается ток до 15 тыс. *а* при напряжении 6—8 *в*. Паяние продолжается не больше 5 сек., и поэтому изоляция стержней не успевает сильно нагреться.

Концы стержней для сварки стягивают медной проволокой и торцы их проваривают при помощи дуговой сварки. Для защиты от брызг металла лобовые соединения обмотки закрывают чехлами из асбеста. Так как сваренные соединения являются надежными, нет необходимости накладывать сильные швы; достаточно, чтобы стержни были схвачены хотя бы по небольшой поверхности.

Дуговая сварка роторных стержней занимает довольно много времени и может вести к обугливанию изоляции стержней в результате нагревания их сварочной дугой. Более совершенным является нагрев свариваемых стержней по методу сопротивления.

## ПРИЕМЫ ОБМОТКИ РОТОРА ПЕРЕДОВЫМИ ОБМОТЧИКАМИ

Формы совершенствования технологических процессов в условиях крупносерийного производства отличны от тех, которые наблюдаются в мелкосерийном производстве. Если в первом случае инициатива передовых обмотчиков направлена в основном на улучшение и рационализацию применяемых рабочих приемов, то обмотчики мелкосерийного производства, помимо совершенствования трудового процесса, организовали энергичную борьбу по линии упорядочения общих организационно-технических условий и благодаря этому открыли путь к интенсивному росту производительности труда.

В качестве примера рассмотрим укладку роторной обмотки в пазы. Чтобы сделать эту работу, обмотчик должен выполнить следующие операции:

1) вложить в паз гильзу;
2) напарафинить стержень;
3) вставить стержень в паз.

Разделяя эти операции и составляющие их приемы, получим следующий порядок приемов при укладке одного роторного стержня:

1) взять с верстака гильзу;
2) повернуться к ротору;
3) вставить гильзу в паз;
4) повернуться к верстаку;
5) взять стержень и парафин;
6) натереть стержень парафином;
7) положить парафин на верстак;
8) повернуться к ротору;
9) вставить стержень в паз ротора;
10) повернуться к верстаку.

В этом же порядке перечисленные приемы надо повторить столько раз, сколько стержней имеет ротор. Чтобы избежать лишних движений, передовики-обмотчики весь процесс укладки стержней выполняют пооперационно, т. е. сначала вставляют во все пазы ротора гильзы, затем натирают все стержни парафином и только после этого приступают к укладке их в пазы ротора. При этом лишь один раз нужно взять и отложить парафин; отпадут лишние повороты обмотчика к ротору и верстаку. Изменением порядка выполнения отдельных приемов достигается значительное повышение производительности труда. Например, по данным наблюдений, только время на выполнение приема «натереть стержень парафином» сокращается на 50%.

Рассмотрим применение передовых методов работы при забивании медных клиньев в хомутики между стержнями ротора. Операция состоит из следующих приемов:

1) взять бородок и молоток;
2) раздвинуть концы стержней в хомутике;



3) отложить бородок;
4) взять медный клин;
5) вставить клин между стержнями;
6) загнать клин в хомутик молотком.

Все эти операции надо повторить при забивке клина в следующий хомутик. Измененный процесс при группировке приемов, выполняемый передовыми обмотчиками, состоит в следующем:

1) взять бородок и молоток;
2) раздвинуть концы стержней сразу в нескольких хомутиках;
3) отложить бородок;
4) взять горсть клиньев;
5) вставить клинья в хомутики;
6) загнать клинья в хомутики молотком.

Приведенные примеры показывают, как, изменяя порядок выполнения одной операции, обмотчик резко сокращает количество вспомогательных приемов, а следовательно, уменьшает затрату вспомогательного времени. Но ускорение выполнения операций достигается при этом не только за счет изменения порядка приемов. Группировка одинаковых приемов приводит к автоматичности движений. Нужный инструмент или материал в процессе выполнения того или иного приема выбирается безошибочно, рука «вслепую» находит необходимый материал на верстаке и без всяких задержек на обдумывание и дополнительный осмотр включает его в действие. Спокойная работа сохраняет физические силы обмотчиков и обеспечивает высокое качество продукции.

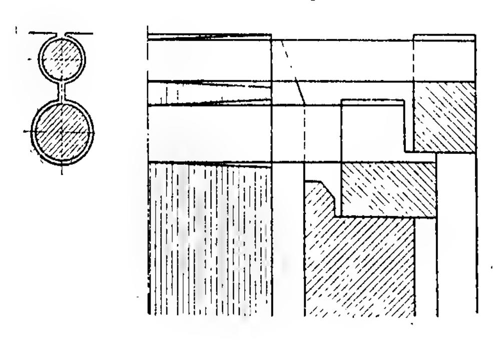
## КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ ОБМОТКИ РОТОРА

Для асинхронных двигателей мощностью до 1000 *квт* основным исполнением являются двигатели с короткозамкнутой обмоткой ротора. Такие двигатели не имеют контактных колец и обмотка их состоит из голых неизолированных стержней, соединенных между собой кольцами на торцах ротора. Для двигателей мощностью до 100 *квт* короткозамкнутая обмотка выполняется путем заливки пазов ротора расплавленным алюминием. Одновременно отливаются замыкающие кольца и вентиляционные крылышки. Заливка роторов алюминием производится в литейных цехах, и эта работа не входит в обязанности обмотчика.

Изготовление короткозамкнутой обмотки двигателей большой мощности производится в обмоточных цехах. Обмотка состоит из медных или латунных стержней и замыкающих колец. Для выполнения обмотки нарубают стержни такой длины, чтобы они выступали из пазов с каждой стороны ротора. Величина выступающих стержней определяется толщиной соединительных колец и расстоянием между кольцом и торцом ротора. Замыкающие кольца сгибают из медной полосы и сваривают в стык. Затем в кольце просверливают отверстия, число которых равно числу

стержней. Концы стержней на точильном камне снимают слегка на конус, и стержни забивают в пазы. На торцы стержней надевают замыкающие кольца, и соединения пропаивают или сваривают.

Короткозамкнутые роторы с одним рядом круглых стержней в настоящее время применяются редко. Для снижения величины пускового тока и увеличения пускового момента применяются двигатели с двойной клеткой. У ротора с двойной клеткой (рис. 141) в листах проштампованы два ряда отверстий. В отверстия верхнего ряда забивают латунные стержни, а в отверстия нижнего ряда — медные стержни. Асинхронные двигатели с двойной клеткой основаны на следующем принципе: в момент пуска, когда ротор неподвижен, в нем, как во вторичной обмотке трансформатора, наводятся электродвижущие силы такой же частоты, как и в статоре, т. е. 50 пер/сек. Магнитное поле значительно сильнее вокруг внутренней обмотки, так как она окружена стальными листами. Поэтому ее индуктивное сопротивление очень высоко по сравнению с верхней обмоткой и ток устремляется в стержни верхней обмотки. Стержни этой обмотки имеют большое омическое сопротивление, так как они выполнены из латуни. В результате этого уменьшается пусковой ток электродвигателя и увеличивается крутящий момент при трогании с места, который пропорционален сопротивлению обмотки ротора. Когда ротор развернется до нормального числа оборотов, частота тока в роторе будет очень небольшой. При этом индуктивное сопротивление нижней обмотки резко снизится и по ней начнет протекать ток.


Рис. 141. Ротор с двойной клеткой

Обмотка, образованная верхними стержнями, работающая только при пуске, называется *пусковой*, а обмотка, образованная стержнями внутреннего слоя, называется *рабочей*. Каждая обмотка замыкается с обеих сторон кольцами. В двигателях большой мощности эти кольца выполняются раздельно для того, чтобы дать возможность стержням каждой клетки удлиняться при нагревании независимо от другой обмотки. В то же время кольца должны предохранять стержни от изгибания под действием центробежной силы. Чтобы кольца не могли смещаться в сторону под действием неуравновешенных масс, они должны центрироваться. На рис. 141 видно, что замыкающее кольцо рабочей обмотки центрируется на заточке нажимной шайбы ротора, а кольцо пусковой обмотки центрируется на заточке в кольце рабочей обмотки.



Роторы с двойной клеткой значительно сложнее по устройству и выполнению, чем роторы с одинарной клеткой. Поэтому в ряде двигателей вместо двойной клетки применяются стержни *1*, представляющие собой медные шины небольшой толщины высотой в несколько десятков миллиметров (рис. 142). Они припаиваются или привариваются к кольцам *2*, в которых профрезеровывают щели. Такие роторы носят названине роторов с глубоким пазом и основаны на том же принципе, что и двигатели с двойной клеткой. При пуске двигателя ток вытесняется в верхнюю часть стержня, а при работе распределяется по всему сечению стержня. Роторы с глубоким пазом проще по выполнению, но имеют существенный недостаток. Он заключается в том, что при неравномерном нагревании стержня, которое имеет место при частых пусках, стержни в пазах выпучиваются и наблюдаются обрывы стержней в местах их соединения с кольцами.

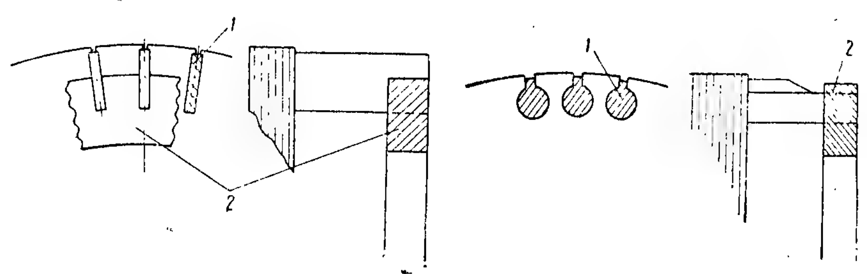


Рис. 142. Ротор с глубоким пазом

Рис. 143. Ротор с бутылочным пазом

На заводе «Электросила» была разработана конструкция короткозамкнутых роторов, показанная на рис. 143. В пазы ротора забивают стержни *1* специального профиля, который получил название бутылочного. Эти стержни обладают примерно такими же свойствами в отношении пуска двигателя, как и стержни в двигателях с глубоким пазом, но благодаря наличию расширенной части они более стойки в отношении деформаций при нагревании. Для соединения с замыкающими кольцами *2* на выступающих концах стержней гребешки протачивают и стержни вставляют в круглые отверстия, просверленные в кольце.

Изготовление колец с просверленными отверстиями для концов стержней ротора является трудоемким процессом. Еще более трудно бывает надеть кольца на концы стержней. Это объясняется тем, что при забивании в пазы стержни изгибаются, и поэтому их положение не совпадает с отверстиями в кольцах, а также концы стержней расплющиваются и не входят в отверстия в кольцах. При выполнении соединения между кольцами и стержнями обычно длину стержней выбирают так, чтобы концы их были утоплены в отверстиях колец. Но при этом трудно следить за

качеством сварки. Бывает так, что конец стержня оплавляется и надежного соединения между кольцом и стержнем не получается. Трудность сварки особенно увеличивается для пусковой обмотки, так как латунь, из которой делают верхние стержни, имеет более низкую температуру плавления, чем медь колец. При дуговой сварке концы стержней расплавляются раньше того, как будет разогрето массивное кольцо и сварка получается ненадежной. На рис. 144 показана конструкция обмотки, у которой замыкающее кольцо изогнуто не на ребро, а плашмя и прилегает снизу к стержням ротора. Такое кольцо не нуждается в механической обработке. В нем не надо сверлить отверстий и его не

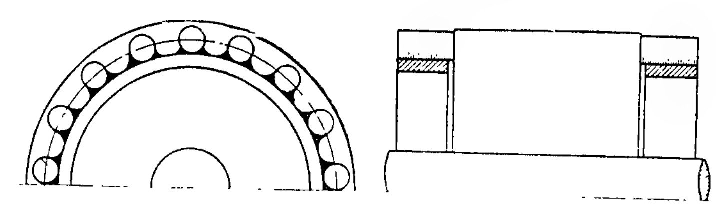


Рис. 144. Ротор с замыкающим кольцом из медной шины

надо обтачивать. Приварку производят швами с обеих сторон стержня. Так как теплоемкость стержней и кольца в месте сварки получается почти одинаковой, легче удается получить надежное соединение. Качество сварки легко контролируется.

При мощностях до 100 *квт* основным исполнением являются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, выполняемые заливкой ротора алюминием.

В настоящее время при массовом производстве заливку роторов алюминием производят в машинах для литья под давлением, которые обеспечивают высокое качество заливки. Однако еще сохранились более простые способы заливки, в том числе статический способ. Он заключается в том, что ротор ставят вертикально, надевают на торцы литейные формы и производят заливку расплавленного алюминия из ковша. При малом сечении пазов часто получаются разрывы в обмотке, если алюминий застынет раньше, чем он успеет заполнить все пазы и замыкающие кольца.

При обрыве нескольких стержней двигатель будет не в состоянии пускаться в ход под нагрузкой. Обнаружение дефектов в обмотке ротора с «беличьей клеткой» недоступно методом измерения сопротивления обмотки, так как все стержни соединены между собой параллельно и обрывы даже нескольких стержней не окажут существенного влияния на общее сопротивление клетки. Поэтому долгое время обрывы в стержнях короткозамкнутой обмотки определяли при пробном пуске двигателя после сборки. Чем большее число стержней имеет обрывы, тем большее напряжение требуется для трогания ротора с места при пуске двига-



теля вхолостую. Однако такое испытание не позволяло выявить недостатки ротора до сборки и вся работа по сборке двигателя с дефектным ротором шла впустую.

Большую пользу принесло применение аппарата типа ПКР-2, схема которого показана на рис. 145. Для снижения индуктивного сопротивления стержня обмотки прибор питается от источника тока *2* пониженной частоты порядка 5 *гц*. К испытываемому ротору *4* приставлен подковообразный электромагнит *3*, наконечники которого касаются двух соседних зубцов. В цепь электромагнита включен вольтметр *1*. В другой части ротора к этим же зубцам прикладывают концы электромагнита индикатора *5*, от него ток через усилитель *7* идет к вольтметру *6* и по показаниям вольтметра судят об исправности стержня. Для проверки ротора проводят это испытание последовательно для всех пазов.

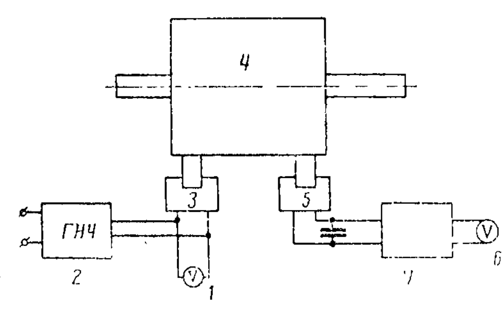



Рис. 145. Аппарат для контроля роторов

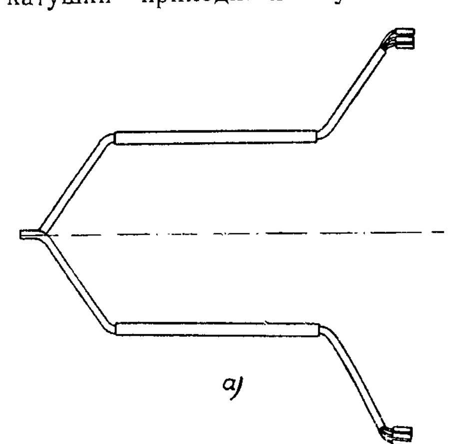
*Глава XVIII*

# СХЕМЫ СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК ЯКОРЯ

## КАТУШКИ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ИЗ ШИННОЙ МЕДИ

С увеличением мощности электрической машины увеличивается ее магнитный поток. Поэтому для наведения в обмотке якоря требуемой электродвижущей силы потребуется меньшее число проводов в обмотке якоря. Так как с увеличением мощности и размеров машины одновременно растет число пазов в окружности якоря, то, естественно, что число проводов в пазу уменьшается. В машинах мощностью в несколько ватт число проводов в пазу исчисляется сотнями, в машинах мощностью в несколько киловатт — десятками, а в машинах мощностью в сотни киловатт — единицами. Поэтому в крупных машинах нет необходимости наматывать катушки якоря в несколько витков и они выполняются одновитковыми. Ввиду большого тока в каждой параллельной ветви обмотки катушки выполняют из медных шин большого сечения. При сечениях провода до 20—30 *мм*² применяют обмоточные провода с изоляцией, а при бо́льших сечениях голые медные шины, которые изолируют после гибки.

На рис. 146, *а* показана катушка обмотки якоря крупной машины, имеющая один виток, и так как наматывать такую катушку на станке не имеет смысла, одновитковые катушки гнут в гибочных приспособлениях. Процесс гибки по операциям с перекладыванием катушки из одного приспособления в другое (см. рис. 2) применяется только в мелкосерийном производстве, потому что он занимает много времени и не обеспечивает достаточной точности размеров. Поэтому в процессе укладки в пазы катушки приходится гнуть дополнительно. В крупносерийном производстве гибку катушек производят в универсальном приспособлении (рис. 147) с переставными кулачками. В нем производится гибка и рихтовка не одной шины, а целого пучка шин, из которых состоит катушка обмотки.



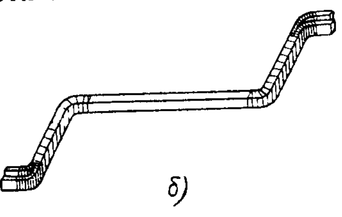




Рис. 146. Шинные катушки обмотки якоря:
*а* — неразрезная, *б* — разрезная

Приспособление представляет собой как бы часть якоря с пазами, в которые вкладываются стороны катушки, поэтому размеры катушки получаются точными и не требуют дополнительной гибки при укладке в пазы. Витковая изоляция для машин с классом изоляции А состоит из хлопчатобумажных лент или бакелизированной бумаги, а для машин с изоляцией класса В из микаленты. Аналогично выбирается и изоляция обмотки от корпуса.

Процесс изготовления катушки состоит из следующих операций:

1) резка заготовок из медной шины;
2) полировка концов шин;
3) лужение концов шин;
4) гибка шин на ребро;
5) формовка катушки в универсальном приспособлении;

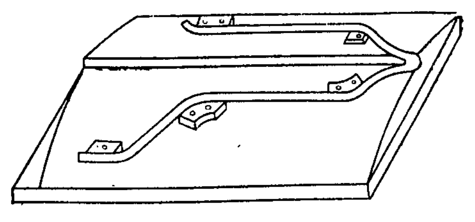


Рис. 147. Приспособление для гибки шинной катушки



6) намотка витковой изоляции;
7) первая прессовка в горячих прессах;
8) намотка корпусной изоляции;
9) вторая прессовка в горячих прессах;
10) зачистка выводных концов.

В машинах мощностью в тысячи киловатт, а иногда и при меньшей мощности обмотки состоят из полукатушек (рис. 146, *б*). Такие обмотки носят название разрезных или стержневых. Разрезные катушки позволяют применять переплетение шин, схемы ступенчатых и «лягушечьих» обмоток, о которых будет сказано далее.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ В МАССИВНЫХ ПРОВОДАХ

Как известно из курса электротехники, в якоре машины постоянного тока протекает переменный ток, который выпрямляется коллектором. Образование переменного тока в обмотке объясняется тем, что каждый провод обмотки при вращении якоря пробегает то под северным, то под южным полюсом. При этом по закону индукции в нем наводится электродвижущая сила в одном направлении, когда он проходит под северным полюсом и в обратном направлении, когда проходит под южным полюсом. Если по проводу протекает ток, то вокруг него создается магнитное поле. Это магнитное поле будет охватывать провод и при изменении тока в нем будут наводиться электродвижущие силы самоиндукции.

Обмотки якорей больших машин выполняют из медных шин. Чтобы уменьшить ширину паза, стараются выбирать шину меньшей толщины и большей высоты. Если представить эту шину разделенной на отдельные провода по высоте паза, то индуктивное сопротивление этих проводов будет различное. Провода, лежащие на дне паза, будут иметь большее индуктивное сопротивление, чем провода, расположенные в верхних слоях паза. Однако в действительности в пазах лежат сплошные медные стержни, поэтому распределение тока по их сечению будет неравномерным. Это поведет к тому, что плотность тока в разных точках сечения стержня будет неодинаковой. Следовательно, одна часть сечения стержня будет перегружена током, а другая недогружена.

Когда определяют плотность тока в проводе, делят общий ток, протекающий через провод, на его сечение. Но в данном случае так поступать нельзя. Неравномерное распределение тока по сечению провода поведет к тому, что общее сопротивление его как бы увеличится, и от этого произойдет увеличение потерь энергии в обмотке. Увеличение потерь в обмотке влечет за собой увеличение нагрева и уменьшение коэффициента полезного действия машины. Для борьбы с этим явлением применяют специальные конструкции обмоток.

## ОБМОТКИ С РАЗДЕЛЕННЫМИ ПРОВОДАМИ

Увеличение потерь в проводе в сильной степени зависит от его высоты. Самым простым способом уменьшения дополнительных потерь в обмотке якоря является разделение высокого провода на два, из которых высота каждого будет равна только половине высоты прежнего провода. Эти два провода должны быть присоединены к одним и тем же коллекторным пластинам и включены параллельно. Следовательно, между ними не будет никакого напряжения. Однако для снижения дополнительных потерь они должны быть изолированы друг от друга.

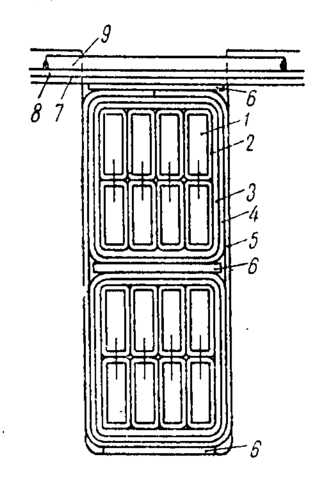



Рис. 148. Обмотка с разделенным проводом:

*1* — голая шина, *2* — витковая изоляция, *3* — корпусная изоляция, *4* — защитная лента, *5* — пазовая гильза, *6* — прокладки на дно паза и между катушками, *7—8* — прокладки под бандаж, *9* — проволочный бандаж

Если же эти два параллельных провода будут касаться друг друга, то ток будет переходить из одного провода в другой, и тогда один провод будет перегружен током, а другой недогружен. Таким образом, при неизолированных проводах будет наблюдаться то же явление, что и в одном массивном проводе.

В машинах постоянного тока большой мощности всегда применяются обмотки с разделенными проводами. Процесс изготовления якорных катушек с разделенными проводами значительно отличается от изготовления катушек из сплошной шины. Такая обмотка располагается в пазу в четыре слоя, причем между вторым и третьим слоями, которые относятся к разным катушкам, ставится усиленная изоляция, а первый и второй слой, так же как третий и четвертый, разделяет только изоляция самих проводов (рис. 148). Лобовая часть катушки представляет собой двойную петлю, причем внешняя часть охватывает внутреннюю. Чтобы головки катушек внешней и внутренней части хорошо подходили одна к другой, гибку их производят одновременно. Но нельзя производить гибку шин так, чтобы внешняя и внутренняя часть катушки плотно охватывали друг друга. Это объясняется тем, что гибке подвергаются голые шины, которые затем должны быть изолированы. После наложения изоляции радиус внутренней головки катушки увеличится, а радиус внешней головки катушки уменьшится на толщину изоляции. Таким образом, после изолирования внутренняя головка не войдет во внешнюю. Чтобы избежать этого, в процессе гибки между шинами внутренней и внешней части катушки вкладывают прокладку, толщина которой должна быть равна двойной толщине изоляции шины.



Вторая особенность изготовления катушек с разделенными проводами заключается в том, что увеличивается объем изолировочных работ. Правда, расход изоляционных материалов увеличивается не намного, так как по сравнению со сплошной шиной здесь добавляется только две узкие стороны сечения, представляющие собой незначительную часть от общего периметра шины. Но трудоемкость работ возрастает вдвое, так как число проводов в пазу удваивается. Несмотря на большую трудоемкость изготовления обмоток с разделенными проводами, их все же приходится применять в целях снижения потерь в обмотке.

## ОБМОТКИ С ПЕРЕПЛЕТЕННЫМИ ПРОВОДАМИ

Уменьшить дополнительные потери в массивных проводах обмотки можно и другим способом. Для этого надо переплести шины в пазу так, чтобы на одной части длины якоря она лежала в верхней части паза, а на другом участке длины — в нижней части паза. Если это сделать с каждой шиной, то сопротивление их уравняется и дополнительные потери исчезнут.

Существуют два способа переплетения шин. По первому способу (рис. 149, *а*) шины обмотки якоря штампуют из широкой медной полосы. Раскрой полосы при штамповке подбирается таким, чтобы отходы меди были наименьшими. Затем каждую шину надрубают штампом по двум линиям. После этого ее переплетают так, чтобы она вместо ломаной линии представляла собой прямой стержень. В месте переплетения шина будет иметь двойную толщину. А так как в пазу рядом лежат несколько шин, то места переплетения отдельных шин сдвигают по длине якоря, чтобы утолщенные места распределялись по всей длине паза.

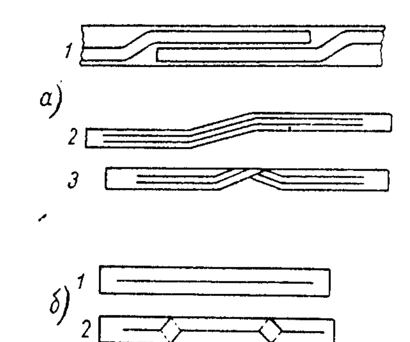



Рис. 149. Переплетенные провода:
*а* — с перегибом шин, *б* — с надсечкой шин

Второй способ переплетения показан на рис. 149, *б*. Как видно из рисунка, посередине шины штампом делают надсечку, а затем шину переплетают в двух местах так, чтобы верхняя и нижняя ее части поменялись местами. Этим добиваются уравнивания сопротивления отдельных шин и уменьшения дополнительных потерь. Для того чтобы воспрепятствовать переходу тока из одной ветви в другую, между ними прокладывают чешуйки слюды. Из данного рисунка ясно, что шины с переплетением не могут образовать целую катушку, а представляют собой полукатушки. Поэтому каждый виток обмотки составляется из двух полукатушек. Полукатушки со стороны коллектора соединяют через пету-

шок коллекторной пластины, а со стороны якоря, противоположной коллектору, они должны быть между собой спаяны.

## СТУПЕНЧАТЫЕ ОБМОТКИ

Разрезные секции применяются не только в обмотках с переплетенными проводами, но и в ступенчатых обмотках. На схемах проволочных обмоток якоря мы видели, что в каждой катушке провода в пазу располагаются симметрично (см. рис. 97). Например, если катушка имеет три секционные стороны, то левый провод первого паза, лежащий в верхней его части, соединяется с левым же проводом, лежащим в нижней части другого паза. Это необходимо для выполнения обмоток из неразрезанных катушек.

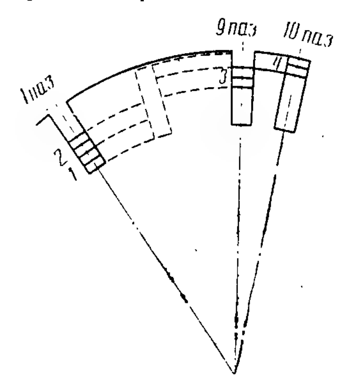


Рис. 150. Ступенчатая обмотка

Однако в некоторых машинах большой мощности применяют так называемые ступенчатые обмотки. Обмотка называется ступенчатой потому, что часть проводов, выходящих из одного паза, переходит в два других паза (рис. 150). Так получится в том случае, если первый частичный шаг обмотки не будет удовлетворять требованию:

$$y_1 = y_z \cdot s.$$

В этом случае нельзя выполнить обмотку из неразрезанных катушек, так как пришлось бы одну сторону катушки распределять по двум пазам. Очевидно, что ступенчатую обмотку можно выполнить только из полукатушек. Ступенчатые обмотки в крупных машинах применяют потому, что они обладают лучшими свойствами в отношении коммутации.

После укладки в пазы разрезной секции надо произвести соединение проводов верхнего и нижнего слоя со стороны, противоположной коллектору. Эти соединения не могут быть выполнены путем паяния в ванне, как это делается для роторов асинхронных двигателей, описанных в главе XVII. Это объясняется тем, что в обмотках машин постоянного тока в пазу лежит несколько стержней и поэтому расстояние между ними по окружности якоря небольшое. Если опустить концы лобовых частей в ванну, то они могут спаяться в одно сплошное кольцо. С другой стороны, паяние оловянисто-свинцовым припоем не обладает достаточной нагревостойкостью. Поэтому соединения стержней разрезной обмотки паяют твердыми припоями, например фосфористой бронзой. Для нагрева места паяния применяют щипцы с угольными электродами, питаемые от понижающего трансформатора. Чтобы иметь возможность вдвинуть электроды щипцов



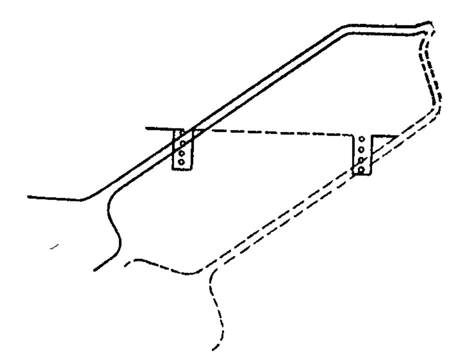
между стержнями обмотки, соседние стержни отгибают вправо и влево от спаиваемых стержней. Обычно это не представляет большой трудности, так как стержни имеют небольшую толщину.

После паяния концы стержней должны быть изолированы, потому что они близко расположены друг к другу и в процессе работы машины могут замкнуться. Для изолировки концов стержней на них надевают колпачки, склеенные из лакоткани, а в машинах с теплостойкой изоляцией — из миканита. Изоляционные колпачки прикрепляют к стержням, обматывая их изоляционными лентами. Затем лобовую часть обмотки бандажируют и якорь отправляют в пропитку.

## СХЕМЫ ЛЯГУШЕЧЬИХ ОБМОТОК

Лягушечью обмотку можно рассматривать как параллельное соединение двух обмоток, петлевой и сложно-волновой, уложенных в пазы якоря и присоединенных к одному коллектору. Лягушечья обмотка применяется в машинах с большим током якоря. Обе обмотки соединены между собой параллельно, поэтому число параллельных ветвей у «лягушечьей» обмотки в два раза больше, чем у простой петлевой обмотки, т. е. равно удвоенному числу полюсов. В этом преимущество лягушечьей обмотки. Например, если машина имеет 8 полюсов, то при простой петлевой обмотке она имела бы 8 параллельных ветвей, и по каждому проводу протекала бы $^1/_8$ тока якоря. Если применить в этой машине лягушечью обмотку, то число параллельных ветвей обмотки будет 16. Следовательно, по каждому проводу будет протекать $^1/_{16}$ тока якоря и сечение провода будет в два раза меньше.

Другое преимущество лягушечьей обмотки по сравнению с петлевой заключается в том, что она не требует применения уравнительных соединений, так как провода одной из обмоток одновременно служат уравнительными соединениями для другой обмотки.


Рис. 151. Катушка лягушечьей обмотки

На рис. 151 показана укладка в пазы катушки лягушечьей обмотки. По виду она несколько напоминает лягушку, откуда обмотка получила свое название. Как видно на схеме, лягушечья обмотка укладывается в пазах в четыре слоя. В соответствии с этим обмотка имеет удвоенное число выводных концов по сравнению с простой волновой или простой петлевой обмоткой. Поэтому в каждой коллекторной пластине присоединяется четыре

провода: два от петлевой обмотки и два от волновой обмотки.

В пазах обе обмотки располагаются следующим образом: первый и четвертый слои занимают провода волновой обмотки, а второй и третий слои — провода петлевой обмотки. Таким образом, секция волновой обмотки в пазах и на лобовых частях охватывает секцию петлевой обмотки. Если петлевая и волновая обмотки имеют одинаковый шаг по пазам, то обе секции могут иметь общую изоляцию и будут представлять из себя одну катушку с четырьмя выводами. Выводы должны быть разделены, потому что, выходя из паза, они идут в разных направлениях. Шаг лягушечьей обмотки по пазам определяется так же, как и для других обмоток, т. е. он приблизительно равен числу пазов якоря, разделенному на число полюсов:

$$y_z = \frac{z}{2p}.$$

Так как обе обмотки соединяются параллельно, они обязательно должны иметь одинаковое число параллельных ветвей, чтобы ток якоря делился поровну между петлевой и волновой обмотками. Из этого правила можно установить, какую волновую обмотку нужно применить в лягушечьей обмотке.

Возьмем для примера четырехполюсную машину. Простая петлевая обмотка такой машины имеет число параллельных ветвей, равное числу полюсов, т. е. четыре параллельные ветви. Такое же число параллельных ветвей должна иметь и сложно-волновая обмотка. Четыре параллельные ветви будет иметь двукратная волновая обмотка. Следовательно лягушечья обмотка четырехполюсной машины будет состоять из простой петлевой обмотки и двукратной сложно-волновой обмотки, у которой шаг по коллектору выражается формулой

$$y_к = \frac{к-2}{p}.$$

**Пример**. Рассмотрим развернутую схему лягушечьей обмотки со следующими данными (рис. 152):

$$2p = 4;\ z = 22;\ s_n = 4,\ к = 22.$$

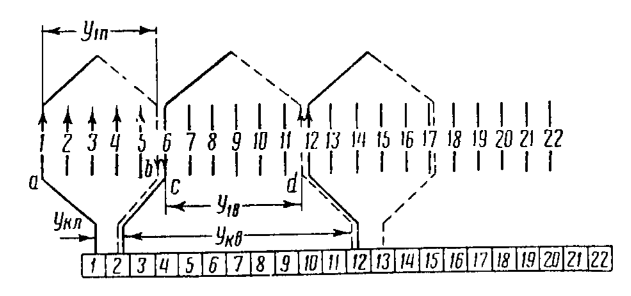



Рис. 152. Схема лягушечьей обмотки



Каждая из обмоток имеет по четыре параллельные ветви. Шаги обмотки выбраны следующие.

Для петлевой обмотки:

шаг по коллектору $y_{кп} = 1$

первый частичный шаг $y_{1п} = \dfrac{к-2}{2p} = \dfrac{22-2}{4} = 5.$

Для сложно-волновой обмотки:

шаг по коллектору $y_к = \dfrac{к-2}{p} = \dfrac{22-2}{2} = 10$

первый частичный шаг $y_{1в} = 6$

второй частичный шаг $y_{2в} = 10 - 6 = 4.$

Таким образом, шаги по пазам петлевой и волновой обмоток здесь разные. Каждая катушка в этой схеме состоит из одной секции и первые частичные шаги выражают собой и шаги по пазам. Следовательно, петлевая обмотка имеет шаг по пазам $y_z = 5$, т. е. из 1-го паза в 6-й, а волновая обмотка имеет шаг по пазам $y_z = 6$, т. е. из 1-го паза в 7-й.

В этом случае катушка не может иметь общую изоляцию по всему контуру. Изолировать вместе можно только сторону катушки, лежащую на дне паза. Верхние же стороны этой катушки, принадлежащие петлевой и волновой обмоткам, будут лежать в разных пазах и поэтому должны быть изолированы отдельно.

Чтобы секции обеих обмоток находились в равных магнитных условиях и электродвижущие силы в них уравновешивались, лягушечья обмотка должна удовлетворять следующим условиям:

первый частичный шаг петлевой обмотки и первый частичный шаг волновой обмотки должны быть связаны следующей зависимостью:

$$y_{1в} + y_{1п} = \frac{к}{p}.$$

В данной обмотке это условие выполнено, так как $6 + 5 = 22:2 = 11.$

Кроме того, шаги по коллектору для обеих обмоток должны быть связаны следующим равенством:

$$y_{кв} + y_{кп} = \frac{к}{p}.$$

Как видно из технических данных обмотки, это условие в ней также выполнено: $10 + 1 = \dfrac{22}{2} = 11.$

## Глава XIX

# ИСПЫТАНИЯ ОБМОТОК ЯКОРЯ

Испытания обмоток якоря заключаются в следующем:

1) испытание электрической прочности изоляции по отношению к корпусу;
2) проверка на отсутствие междувитковых замыканий;
3) проверка качества контактов;

4) проверка правильности соединений обмотки с коллектором;

5) проверка на отсутствие обрывов в обмотке.

## ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

В процессе изготовления якоря на заводе испытание электрической прочности изоляции повторяется несколько раз постепенно снижающимися напряжениями. Это делается для того, чтобы в процессе производства своевременно устранить части обмотки с ненадежной изоляцией. Сменить одну катушку обмотки до пропитки якоря гораздо легче, чем после пропитки, а тем более после сборки машины. Поэтому испытание электрической прочности изоляции производится после каждой операции, во время которой может произойти нарушение изоляции.

В процессе обмотки якоря испытание изоляции относительно корпуса производится пять раз. Первый раз после насадки на вал коллектора, второй раз после укладки в пазы нижних сторон катушек, третий раз после укладки верхних сторон катушек и забивки клиньев, четвертый раз после паяния коллектора и пятый раз после пропитки якоря. Испытательное напряжение с каждым разом понижается на 10—15%. Испытательные напряжения разработаны в заводских нормалях в зависимости от номинального напряжения машины. Испытание электрической прочности изоляции в готовой машине производится один раз при контрольных испытаниях машины напряжением по ГОСТ 183—55, приведенным в главе X.

Схема испытательной установки показана на рис. 75. Для производства испытаний все коллекторные пластины плотно обматывают мягкой медной проволокой. Один конец обмотки испытательного трансформатора присоединяют к этой проволоке, а другой к валу. Напряжение трансформатора поднимают и снижают постепенно, так как при резких изменениях напряжения в обмотке якоря наводится электродвижущая сила самоиндукции и появятся перенапряжения, которые могут пробить изоляцию обмотки на корпус. Полное испытательное напряжение надо выдерживать при каждом испытании в течение одной минуты.

После насадки коллектора на вал испытывают также электрическую прочность изоляции между коллекторными пластинами. Для этого электроды от испытательного трансформатора поочередно прикладывают к каждой паре смежных коллекторных пластин. Испытательные напряжения зависят от толщины миканитовых прокладок между пластинами и берутся обычно в пределах от 220 до 600 *в* независимо от номинального напряжения машины.



## ПРОВЕРКА НА ОТСУТСТВИЕ МЕЖДУВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

Значительно сложнее провести надежное испытание междувитковой изоляции в обмотке. Существующий в течение многих лет трансформаторный метод, при котором якорь кладется на полюсные наконечники электромагнита, обмотка которого питается током повышенной частоты, имеет ряд существенных недостатков. Прежде всего этим методом можно создать напряжение между витками, достигающее только 15—25 *в*. При этом могут быть обнаружены лишь так называемые глухие замыкания, когда провода обмотки непосредственно касаются один другого. Между тем под действием больших усилий при укладке и осаживании обмоток в пазы могут произойти нарушения междувитковой изоляции без непосредственного касания проводов, которые не могут быть обнаружены при таких низких испытательных напряжениях. Во-вторых, способ испытательного электромагнита не позволяет испытывать якори с уравнительными соединениями и с лягушечьими обмотками, так как в них всегда есть короткозамкнутые контуры из секций обмотки и уравнительных соединений.

Для надежного испытания электрической прочности витковой изоляции необходимо иметь между смежными витками достаточно большие напряжения, в некоторых случаях доходящие до 1,5—2 *кв*. Для этой цели наиболее подходящими являются высокочастотные затухающие колебания в виде многократно повторяющихся импульсов (125—110 в секунду), возбуждаемых в испытуемой обмотке. Испытания электрической прочности витковой изоляции следует проводить на отдельных уложенных в пазы катушках, еще не соединенных между собой. Верхний уровень испытательного напряжения должен ограничиваться электрической прочностью витковой изоляции. В ряде случаев величина испытательного напряжения ограничивается прочностью изоляции обмотки от корпуса. Это имеет место, например, при испытаниях изоляции низковольтных машин с всыпной обмоткой.

## УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОМАГНИТА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЯКОРЕЙ

Несмотря на отмеченные недостатки испытания междувитковой изоляции при помощи электромагнита, этот способ широко применяется на всех заводах, так как он позволяет достаточно быстро провести контрольную проверку якорей и обнаружить хотя бы так называемые глухие замыкания между витками.

На рис. 153 показан испытательный электромагнит для проверки якоря на междувитковые замыкания. Он имеет два полюсных наконечника *1* и *3*, соединенных сердечником, на который намотана катушка *6*, питаемая переменным током повышенной частоты. Если положить проверяемый якорь *2* на наконечники электромагнита, магнитный поток будет замыкаться через якорь, а в проводах обмотки будут наводиться электродвижущие силы.

Таким образом, в якоре происходят те же процессы, что и при вращении его в собранной машине, с той лишь разницей, что вместо вращения якоря происходит перемагничивание его переменным потоком.

Если в обмотке нет междувитковых замыканий, все электродвижущие силы уравновешиваются. При наличии же в какой-нибудь секции 4 короткозамкнутых витков в них будут протекать токи, так как витки будут представлять собой как бы вторичную обмотку трансформатора. При этом в зубцах, ограничивающих эти пазы, будет создаваться сильный магнитный поток. Этим явлением пользуются для обнаружения неисправной секции. Обводя окружность якоря стальной пластинкой 5, замечают те зубцы, к которым она сильно притягивается и дребезжит от переменного потока. Эти пазы помечают мелом и якорь отправляют для ремонта в обмоточный цех.

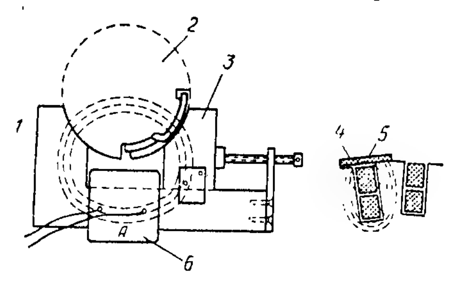


Рис. 153. Электромагнит для проверки якоря

Якори весом до 40 *кг* кладут на электромагнит и поворачивают на нем вручную. При большем весе якоря выполнение этих операций становится трудным. Поэтому для тяжелых якорей электромагнит делают подвесного типа и опускают на якорь при помощи электротали. Якорь при помощи крана ставят шейками вала на роликовые опоры, а на конец вала надевают рычаг для поворачивания якоря в процессе испытания. Наконечники магнита укрепляют на шарнирах, что позволяет им охватывать якори различных диаметров. Для якорей машин малой мощности проверка обмотки на отсутствие междувитковых замыканий при помощи электромагнита является окончательной. Якори крупных машин подвергаются дополнительной проверке качества паек контактов и правильности соединений обмотки с коллектором.

## ПРОВЕРКА ОБМОТОК ЯКОРЯ МЕТОДОМ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Этот метод заключается в том, что обмотка питается постоянным током от аккумуляторной батареи, при этом измеряется падение напряжения между каждой парой смежных коллекторных пластин. Так как падение напряжения пропорционально произведению тока на сопротивление, то падение напряжения будет принимать те или иные значения в зависимости от сопротивления электрической цепи между коллекторными пластинами. Оно может изменяться главным образом за счет качества контакта между коллекторными пластинами и проводами обмотки. При небольшом числе витков в секции этим же методом могут быть обнаружены и витковые замыкания, потому что сопротивление секции, имеющей замкнутые витки, будет меньше, чем сопротивления соседних секций. Метод падения напряжения дает возможность определить неправильное соединение обмотки с коллектором, чего нельзя было сделать с помощью электромагнита.



На рис. 154, *а* дана схема для проверки качества контактов в обмотке якоря. Она состоит из аккумуляторной батареи *1* напряжением 8—12 *в* и силой тока 5—10 *а*, регулировочного реостата *2*, двухполюсного рубильника *3*, точного миллиамперметра *8* с шунтом *7* для тока от 1 до 10 *а*, милливольтметра *5*

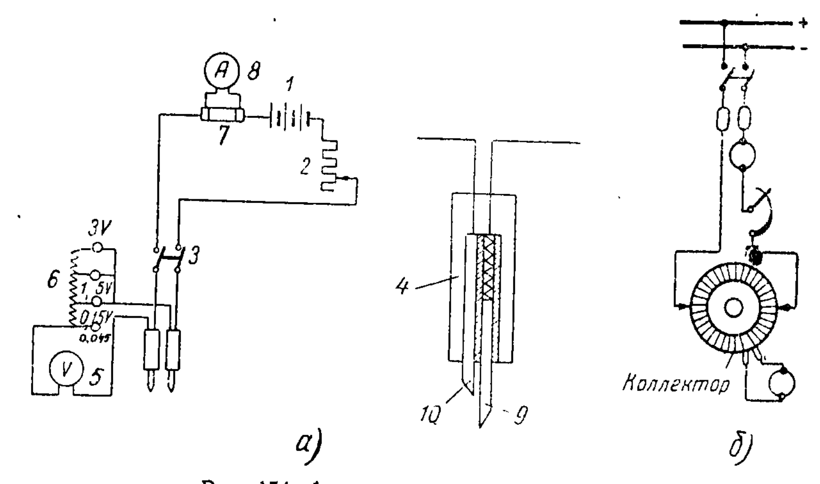


Рис. 154. Аппарат для проверки якоря:
*а* — схема для проверки контактов, *б* — схема для проверки правильности соединений

на 45—150 *мв* с добавочным сопротивлением *6* на 1,5—3 *в* и щупов специальной конструкции *4*. Каждый щуп имеет два стержня: один удлиненный *9* для подведения питающего тока, второй укороченный *10* для присоединения милливольтметра. Оба стержня изолированы друг от друга. Удлиненный стержень снабжен пружиной и при нажатии уходит внутрь рукоятки. Таким образом, он дает возможность включиться короткому неподвижному стержню, к которому присоединен милливольтметр. При ослаблении нажатия удлиненный стержень под действием пружины снова выступает из рукоятки, а короткий стержень отключается, прежде чем происходит разрыв цепи. Этим устраняется возможность порчи милливольтметра при случайном нарушении контактов щупов во время измерения. Применение простых щупов, у которых токоподводящий провод и провод, идущий к милливольтметру, припаяны к одному стержню, приводит к тому, что при случайном соскакивании щупа милливольтметр получает полное напряжение батареи и в большинстве случаев перегорает.

Проверка качества паяния происходит следующим образом. Регулировочный реостат *2* устанавливают на наибольшее сопротивление, включают рубильник *3* и накладывают щупы *4* на две рядом лежащие коллекторные пластины, с торцовой стороны их, чтобы не повредить рабочей поверхности коллектора. Затем нажимают щупы, включая этим милливольтметр и измеряют падение напряжения, переходя от пластины к пластине по всему коллектору. Величина тока при всех измерениях должна быть одинаковой; она регулируется с помощью реостата *2*. Реостатом устанавливается такой ток, чтобы отклонения стрелки миллиамперметра *8* и вольтметра *5* были достаточно велики и легко наблюдаемы. Необходимое для точности измерения отклонение стрелки этих приборов достигается включением соответствующего шунта в амперметр и подбором соответствующего добавочного сопротивления к вольтметру.

До начала испытания коллекторные пластины нумеруют. Во время испытания записывают показания амперметра и вольтметра для каждой пары соседних пластин коллектора и сравнивают измеренные сопротивления. При хорошем паянии показания вольтметра между всеми пластинами будут приблизительно одинаковыми. Паяние можно считать хорошим, если разница сопротивлений между отдельными пластинами коллектора не превышает 10% для машин серийного производства и 5% для особо ответственных больших машин. Если же наблюдается увеличенное сопротивление между некоторыми соседними пластинами, это указывает на плохое паяние.

Этим же прибором можно определить наличие витковых замыканий в обмотке. Если один или несколько витков в секции замкнуты, сопротивление ее будет меньше и отклонение стрелки милливольтметра будет меньше. Если же в обмотке имеется обрыв, что часто имеет место в обмотках, намотанных из тонкого провода, то по такой секции не потечет ток, и стрелка милливольтметра совсем не отклонится.

Для определения правильности присоединения выводных концов обмотки к пластинам коллектора якорь питают постоянным током через две коллекторные пластины (рис. 154, *б*), а милливольтметр присоединяют поочередно к каждой паре соседних коллекторных пластин. Если обмотка выполнена правильно, стрелка милливольтметра на каждом полюсном делении будет отклоняться в одну и ту же сторону, а на следующем полюсном делении — в другую сторону. Если же на одной паре коллекторных пластин, находящейся внутри полюсного деления, отклонение стрелки будет в обратную сторону по сравнению с соседними парами, это указывает на то, что концы обмотки перехлестнуты.

На рис. 155 показан усовершенствованный аппарат для контроля качества паяния обмотки якоря с коллекторными пластинами. В основании из прозрачного плексигласа *2* укреплены два токовых контакта *6* и два контакта для измерения напряжения *5*.



Между ними помещается фиксирующая пластина *4*, которая ориентирует прибор по дорожке между пластинами коллектора. В одном из контактов для провода напряжения есть контактная кнопка *1* для защиты милливольтметра *8* при нарушении соединения токовых контактов с пластиной коллектора. Установочные винты *3* служат дополнительной опорой прибора.

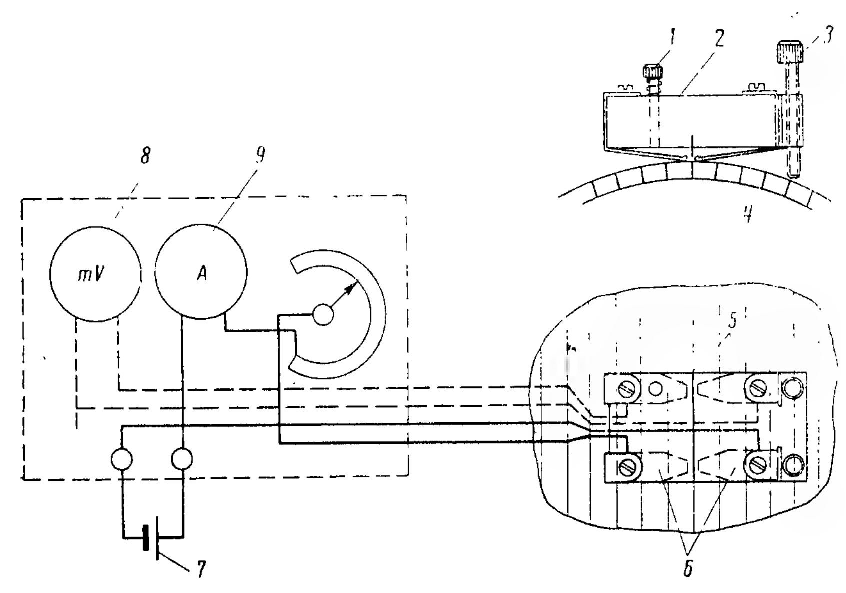


Рис. 155. Схема аппарата для проверки якоря

В аппарате применен амперметр М-41 на 5 *а* *9* и милливольтметр на 50 *мв* *8*, изготовленный из прибора М-41. Питание дается от аккумуляторной батареи *7* напряжением 2—4 *в*. Пользуясь этим аппаратом, один оператор проверяет коллектор за 15—20 мин.

## ПРОВЕРКА ОБМОТОК ЯКОРЯ АППАРАТОМ ТИПА СМ

Значительное усовершенствование методов проверки обмотки якоря внесло применение аппарата СМ, устройство которого было кратко описано в главе X. Для контроля якорных обмоток сконструировано специальное приспособление с тремя равноудаленными электродами (рис. 156), которые прижимают к коллектору пружинами. Для коллекторов разных диаметров электроды передвигаются в держателе. Расстояние между крайними электродами всегда равно полюсному делению на якоре четырехполюсной машины. Приспособление передвигают по окружности коллектора. Если обмотка якоря исправна, то на экране аппарата появится одна кривая правильной синусоидальной формы. При различных характерах ассиметрии, которая возникает

при междувитковом замыкании, обрыве, неправильном соединении, замкнутых витках появляются кривые различного вида, что при известном навыке позволяет быстро определить характер неисправности.

Внедрение аппарата позволило значительно повысить пропускную способность испытательной станции и обеспечить конт-

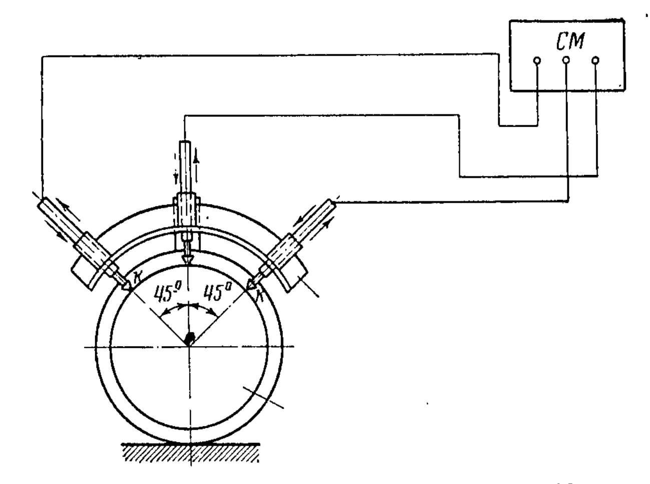



Рис. 156. Проверка якоря аппаратом СМ

рольными испытаниями большее число операций, что резко сократило брак готовых машин. Средняя продолжительнoть контроля якоря составляет 4 минуты, тогда как при проверке якоря методом падения напряжения требовалось не менее 40 мин.

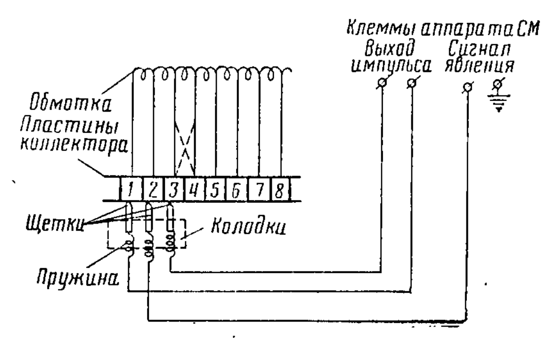



Рис. 157. Проверка якоря аппаратом СМ

На рис. 157 показано применение аппарата СМ для одновременной проверки якоря на отсутствие витковых замыканий, отсутствие обрывов, правильность соединения концов секций с коллектором и правильность числа витков в секциях. При наличии какого-либо из дефектов меняется форма кривой на экране ап-



парата. Заметное раздвоение кривой получается при отклонении числа витков в секции на 4—5% от номинального.

Для каждого типа обмотки якоря необходимо предварительно установить, какая форма кривой соответствует тому или другому дефекту, так как при различных обмоточных данных формы кривых могут сильно меняться. Целесообразно на экране электронно-лучевой трубки иметь сетку для количественной оценки размеров кривых. Такую сетку можно нанести на защитный экран из плексигласа, предохраняющий электронно-лучевую трубку от повреждений.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ОБМОТКЕ ЯКОРЯ

Ранее было изложено, как при помощи различных приборов проверить обмотку якоря на отсутствие различных неисправностей. В процессе ремонтных работ часто обмотчику бывает необходимо еще до разборки машины определить причины неисправности якоря.

Если обмотчик умеет определять неисправность машины по характеру ее работы, он быстро может устранить неисправность. Причина неисправности может быть скрыта или в обмотке якоря или в обмотке возбуждения, а иногда может быть и не связана с обмотками. Покажем это на нескольких примерах.

1. В машине наблюдается искрение щеток и почернение некоторых коллекторных пластин, находящихся на определенном расстоянии друг от друга. Причиной неисправности может быть плохой контакт в обмотке якоря; для его устранения надо проверить качество паяния соединения концов обмотки с почерневшими пластинами коллектора.

2. На коллекторе выгорела изоляция между двумя или несколькими коллекторными пластинами. Причиной может быть обрыв секций якоря, соединенных с этими пластинами. Надо найти место обрыва и устранить неисправность.

3. Щетки искрят; отдельные катушки главных полюсов нагреваются неравномерно. Причиной является междувитковое замыкание в одной или нескольких катушках. Эти катушки можно определить по тому, что они нагреваются меньше других.

4. Отключенный от сети генератор дает номинальное напряжение, а при включении на сеть дает пониженное напряжение. Причиной является соединение обмотки возбуждения или шунтового регулятора с корпусом. Для устранения этой причины нужно при помощи контрольной лампы найти место соединения и изолировать его.

5. Щетки искрят, а обмотка якоря сильно нагревается. Причиной может быть соединение отдельных коллекторных пластин заусенцами, не удаленными после обточки коллектора, или междувитковые соединения в одной или нескольких секциях якоря.

Сначала нужно осмотреть коллектор и, если не будут обнаружены замыкания между пластинами, машину надо разобрать и проверить обмотку якоря на отсутствие витковых замыканий.

*Глава XX*

# РЕМОНТ ОБМОТОК

## РАЗНОВИДНОСТИ РЕМОНТА ОБМОТОК

Всякая машина в процессе работы изнашивается. В электрических машинах чаще других частей изнашиваются обмотки. Это объясняется тем, что обмотки представляют собой часть машины, состоящую из неоднородных материалов — меди и изоляции. Из двух составных частей обмоток изоляция является более слабой и поэтому наибольшее число повреждений машин относится к нарушению изоляции. С течением времени происходит «старение» изоляции, при котором электрические и механические свойства изоляционных материалов ухудшаются. Старение изоляции ускоряется под действием нагрева, влаги, различных химических факторов и др. Нарушение изоляции приводит к замыканию проводов между собой или соединению с корпусом, вследствие чего нарушается распределение тока и электрическая машина выходит из строя. В зависимости от соединений проводов различают замыкания между витками одной катушки, замыкание между разными катушками и соединение проводов обмотки с корпусом. Этим определяется бóльшая или мéньшая трудность нахождения неисправности, характер ремонта и технология выполнения ремонта. Что касается повреждений медных проводов обмотки, то они встречаются гораздо реже и объясняются обрывами тонких проводов или распаиванием соединений проводов обмотки между собой или с коллектором. Бывают случаи перегорания проводов обмоток, но это является следствием нарушения их изоляции, после чего в них начинают протекать большие токи короткого замыкания и провода расплавляются под действием выделяемого в них тепла или электрической дуги.

В зависимости от характера неисправности обмотки ремонт может заключаться в смене отдельных катушек или секций или в полном восстановлении обмотки. Характер ремонта определяется не только видом неисправности, но и конструкцией обмотки. Например, в полюсных катушках или концентрических однослойных обмотках для замены неисправной катушки достаточно перемотать эту катушку или катушечную группу. В двухслойных обмотках для замены неисправной катушки необходимо поднять из



пазов число катушек, равное шагу обмотки по пазам, так как иначе нельзя вынуть ремонтируемую катушку. Ввиду того что при выемке из пазов катушки могут быть повреждены, иногда вместо одной неисправной катушки приходится ремонтировать и несколько других.

В машинах малой мощности, у которых обмотка выполнена из тонкого провода и пропитана, редко удается произвести частичный ремонт обмотки, так как провода склеиваются пропиточным лаком и вынуть их из пазов можно, только разрезав лобовые части на одной стороне статора. Таким образом, вместо частичного ремонта приходится производить полную замену обмотки.

В процессе выполнения ремонтов тех машин, на которые в цехе нет чертежей и схем, обмотчику часто приходится сталкиваться с новыми вопросами. Нельзя производить частичный ремонт обмотки, не разобравшись в ее схеме, в классе изоляции, числе параллельных ветвей и параллельных проводов. Поэтому ремонтные работы являются для обмотчиков наиболее трудными; кроме производственных навыков, они требуют и теоретических знаний. При восстановлении обмотки обмотчик должен знать весь технологический процесс ее выполнения, который при серийном производстве расчленен на многие операции, выполняемые рабочими различных профессий и часто даже в разных цехах. Наибольшую ответственность накладывает на обмотчика ремонт крупных машин с выездом на место их установки, где он должен все операции выполнять самостоятельно. Такие работы поручают только опытным обмотчикам высокой квалификации.

Всякая электрическая машина тем легче может быть исправлена, чем ранее обнаружена причина неисправности. Это можно пояснить на следующих примерах.

1. Разматывание бандажей или обрыв отдельных проволок бандажа ротора легко исправляется посредством перемотки бандажей. Если же это не было вовремя замечено, то размотавшийся бандаж повредит всю обмотку статора, а обмотка ротора может выйти из пазов, что потребует капитального ремонта.

2. Ослабление крепления полюсов на роторе синхронного генератора, обнаруженное своевременно, устраняется при разборке машины путем подтягивания и законтривания болтов. Если же при вращении ротора полюса будут задевать за статор, то это поведет к выходу машины из строя с повреждением магнитных сердечников и обмоток.

3. Мелкий ремонт контактных болтов на дощечке зажимов может быть произведен на месте установки машины, между тем как нарушение контакта в цепи возбуждения машины постоянного тока может повлечь за собой серьезную аварию, так как двигатель пойдет в разнос. У асинхронных двигателей нарушение контакта в одной из фаз ведет к чрезмерному перегреву двигателя и выходу обмотки из строя.

4. Ослабление крепления щеткодержателя, вовремя замечен-

ное, легко может быть устранено подтягиванием винтов. Между тем если щеткодержатель начнет касаться коллектора, то это вызовет повреждение пластин, требующее проточки коллектора.

Эксплуатация электрооборудования предусматривает содержание его в исправном состоянии, предупреждение и устранение мелких неисправностей и восстановление оборудования вышедшего из строя по тем или иным причинам. Основной задачей эксплуатации электрооборудования является снижение простоев до наименьшего возможного предела. В сложных приводах длительный простой агрегатов из-за неисправности приводного двигателя приносит убытки, во много раз превышающие стоимость двигателя. Поэтому при отсутствии резервного двигателя первоочередной задачей ремонта является восстановить двигатель хотя бы временно, но в кратчайший срок, с тем чтобы иметь возможность подготовить резервный двигатель, а неисправный вывести в ремонт. Исходя из этого, при разборе неисправностей обмоток здесь даны не только способы восстановления обмоток, но и временные мероприятия для устранения неисправности и пуска двигателя. Так, например, описаны способы выключения секций и катушек обмоток, имеющих витковые замыкания или соединения с корпусом. Для поддержания электрических машин в нормальном состоянии на предприятиях различных отраслей промышленности организуется определенная система работ, называемая планово-предупредительным ремонтом.

Содержание отдельных работ по планово-предупредительному ремонту электрической машины заключается в следующем: плановый осмотр с устранением мелких неисправностей на месте; текущий или средний ремонт и капитальный ремонт.

Под плановым осмотром понимается ремонт электрической машины без ее разборки. При плановых осмотрах проверяется работа машины и выявляется необходимость в производстве ремонта отдельных деталей, определяется потребность в остановке машины для ремонта, уточняется объем и сроки ремонта.

Текущий или средний ремонт заключается в устранении неисправностей, выявляемых при плановых осмотрах. Текущий ремонт обычно сопровождается разборкой электрической машины, благодаря чему имеется возможность произвести чистку, выверку или замену изношенных частей. Текущий ремонт — есть основной вид ремонта, посредством которого электрическая машина должна поддерживаться в нормальном работоспособном состоянии.

Капитальный ремонт производится на основании установления при плановых осмотрах, испытаниях и текущих ремонтах полной или частичной изношенности основных элементов электрической машины, а также при авариях, в результате которых приходится заменять всю обмотку или большую ее часть. Сроки между капитальными ремонтами могут быть значительно удлинены за счет правильной организации и своевременного проведения текущих ремонтов. В объем капитального ремонта входит полная разборка машины, замена всех изношенных узлов и деталей и полное или частичное обновление основных элементов электрической машины.



Повреждения обмоток электрических машин нельзя рассматривать в отрыве от состояния других частей машины. Например, при заедании подшипников электродвигатель попадает в режим короткого замыкания, что ведет к обугливанию изоляции. Перегрев коллектора, вследствие неисправности щеточного аппарата, может вызвать распаивание соединений обмотки с коллектором. Задевание ротора за статор при чрезмерной сработке подшипников неизбежно сопровождается повреждением обмоток. Если наружная поверхность двигателя и решетки для забора воздуха загрязнены, то это поведет к ухудшению охлаждения и ускоренному старению изоляции обмоток.

Из этих примеров видно, что исправное состояние и хорошая работа обмоток зависят и от других факторов, которые как будто прямого отношения к обмотке не имеют.

## ПОДГОТОВКА К РЕМОНТУ ОБМОТОК

Сроки, стоимость и качество ремонта в значительной степени зависят от плановой подготовки к ремонту. Она заключается в своевременном приобретении соответствующих размеров обмоточных проводов, изоляционных и вспомогательных материалов. Перечень необходимых для ремонта обмоток материалов вносится в паспорта электрических машин. Мероприятия по подготовке к ремонту обеспечивают скоростной ремонт обмоток.

При полном восстановлении обмотки необходимо перед удалением старой обмотки снять с нее все необходимые данные, которые потребуются для изготовления катушек новой обмотки и укладки их в пазы. Эти данные заключаются в следующем:

1) род обмотки (однослойная, двухслойная, петлевая, волновая и т. д.);

2) число пазов по окружности статора и ротора и схемы обмоток;

3) число проводов в пазу;

4) размеры проводов и их изоляция (марка обмоточной меди);

5) шаг обмотки по пазам, выраженный номерами пазов, в которых лежат стороны катушки;

6) схема соединений обмотки якоря, соединений между катушками и присоединений концов обмотки к пластинам коллектора; число параллельных ветвей обмотки якоря;

7) размеры паза с эскизом формы паза и расположения в нем проводов;

8) длина сердечника статора или ротора (расстояние между торцами);

9) схема укладки катушек в пазы (для двухплоскостных и трехплоскостных однослойных обмоток трехфазного тока);

10) шаг обмотки якоря по коллектору;

11) вылет лобовых частей (расстояние от торца статора или ротора до наиболее удаленной точки лобовых частей обмотки);

12) развернутая длина катушки (длина одного из проводов катушки в распрямленном виде);

13) изоляция катушки (материалы, число слоев и способ намотки изоляционной ленты: внахлестку, в стык и т. д.);

14) изоляция обмоткодержателей, на которых лежат лобовые части обмоток (материалы, число слоев, общая толщина, способы крепления);

15) число и размеры бандажей (ширина бандажа, число витков, диаметр бандажной проволоки, число прокладок под бандаж и материал);

16) число и размеры уравнительных соединений (шаг, сечение провода, изоляция уравнительных соединений и расположение их на якоре);

17) размеры, форма и материал пазовых клиньев.

Все эти данные должны быть аккуратно записаны в виде схем и таблиц. По размерам вынутой из пазов катушки и развернутой длине витка определяют форму и размеры намоточного шаблона для намотки новых катушек. Затем приступают к выемке из пазов катушек старой обмотки. Пазы должны быть тщательно очищены от налипшего лака и остатков пазовой изоляции

Во время ремонта обмоток нужно соблюдать основные правила, необходимые для качественного проведения ремонта. Прежде всего при работе с обмотками необходимо соблюдать чистоту и аккуратность. Пыль и грязь, попадающие на изоляционные материалы, резко снижают их свойства. В местах производства обмоточных работ не должно производиться опиливания металлов. Перед укладкой обмоток в пазы сердечник должен быть продут сжатым воздухом, так как механическая очистка пазов при помощи тряпок или щеток не дает достаточной гарантии против наличия проводящих частиц.

При паянии в слесарном производстве в качестве флюса широко применяется соляная кислота и хлористый цинк. При паянии проводов обмотки применение соляной кислоты категорически запрещается, так как ее пары разъедают изоляционные материалы. При паянии обмоток в качестве флюса применяется канифоль в виде порошка или раствора в спирте или в бензине.

Для очистки поверхностей в слесарном деле обычно применяется наждачная бумага. В электротехнической промышленности при чистке контактных поверхностей применение наждачной бумаги не допускается, так как абразивные зерна въедаются в поверхность меди и ухудшают переходное сопротивление контакта. Чистка контактных поверхностей производится исключительно стеклянной бумагой или пемзой.



При ремонте обмоток должны применяться изоляционные материалы, которые соответствуют классу изоляции, принятому в данной машине. Замена микаленты лакотканью поведет к быстрому старению изоляции. Если же вместо миканита применить бумагу или хлопчатобумажную ленту, то нарушится электрическая прочность изоляции и обмотку может пробить на корпус.

В тех случаях, когда можно произвести частичный ремонт, поврежденная катушка вынимается из пазов и выявляется характер неисправности. В случае междувиткового замыкания на провод накладывают дополнительную изоляцию и катушка может быть снова вложена в пазы. Если же при витковом замыкании произошло перегорание проводов, то катушку надо намотать заново проводом такого же сечения. Размеры намоточного шаблона определяют по размерам ремонтируемой катушки. Изоляцию провода и изоляцию от корпуса надо взять в соответствии с материалами, примененными в ремонтируемой катушке. Все изоляционные материалы, применяемые при ремонте, должны быть пропитаны для снижения гигроскопичности. При пропитке поры изоляции заполняются пленкой лака, что повышает электрическую прочность, нагревостойкость, влагостойкость и теплопроводность изоляционных материалов.

При выполнении ремонта обмоток не всегда можно заменить провода новыми. Обмотки из медных шин, как правило, ремонтируют с использованием старой меди. Однако и при ремонте обмоток из круглого провода надо всегда стремиться к его повторному использованию. При этом часто провод остается целым, а изоляция его требует замены. Поэтому целесообразно в ремонтных цехах иметь устройства для нанесения на обмоточные провода изоляции. Удаление старой изоляции производится обжигом в закрытых электрических печах при строгом соблюдении температурного режима. Не допускается обжиг изоляции на пламени горелки, так как это приводит к перегревам самого медного провода и нарушению его механических и электрических свойств. После обжига провод опускают на 5—10 мин. в 4—5-процентный раствор серной кислоты для окончательного удаления остатков изоляции. Затем провод промывают в проточной воде и опускают на 15—20 мин. в ванну с горячим 1-процентным раствором мыла для нейтрализации остатков кислоты. После нейтрализации провод снова промывают в воде и просушивают в струе горячего воздуха. Затем провод выпрямляют от искривлений и наматывают на деревянный барабан. В процессе намотки тщательно осматривают поверхность провода. Обнаруженные заусенцы, оплавления и ребристость снимают шабером. При обнаружении трещин, пережогов и сужений сечения поврежденные участки провода вырезают, а концы провода сваривают на сварочных аппаратах в стык. Провода прямоугольного сечения перед сваркой срезают под углом 30—60°.

В качестве изоляции применяют пряжу. Толщина нитей пря

жи определяется ее номером, котор[illegible] обозначает число метров в 1 г пряжи. Для изолировки проводов применяют номера пряжи от 204 до 54. Для увеличения производительности изолировочных станков изолировку ведут сразу 3—5 нитями. Поэтому пряжу, поступающую в початках или бобинах, предварительно перематывают на катушку так, чтобы одиночные нитки укладывались рядом. Целесообразно в процессе изолировки производить одновременно пропитку пряжи, так как это повышает качество изоляции и дает возможность сэкономить время пропитки намотанных катушек обмотки.

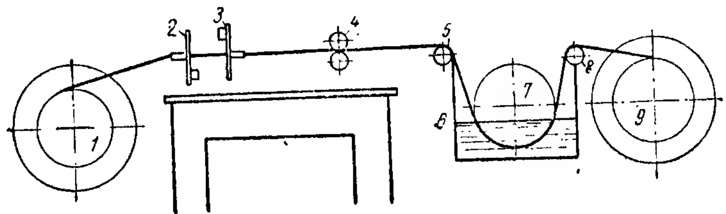



Рис. 158. Схема изолировки и пропитки провода

Схема изолировки провода с одновременной пропиткой показана на рис. 158. Обмоточный провод с барабана *1* после нажимных роликов *4* поступает в пропиточную ванночку *6*, которая установлена рядом с приемным барабаном *9*. Провод направляется роликами *5* и *7*. Излишки лака удаляются фетровой прокладкой *8*. Нити пряжи наматываются на провод с катушек *3*, вращающихся вокруг провода на дисках *2*.

## РЕМОНТ ОБМОТОК СТАТОРА

Асинхронные двигатели являются наиболее распространенными в промышленном электроприводе. Поэтому в программе ремонтных цехов они занимают по количеству первое место.

Электрические машины изготовляются на заводах в виде серий. Серия — это ряд машин различных мощностей, имеющих одинаковое устройство. При проектировании серий электрических машин стремятся достигнуть наибольшей унификации деталей. Для этого проектируют несколько машин разной мощности с одинаковым наружным диаметром статора, но с разными длинами. Унификация диаметров позволяет строить несколько машин с одинаковыми подшипниковыми щитами, нажимными шайбами ротора и статора. Для штамповки листов сердечников используется один и тот же штамп. Уменьшается число приспособлений и измерительных инструментов, необходимых для производства двигателей. Серийное производство позволяет значительно повысить производительность труда и снизить затраты на изготовление моделей для литых деталей, штампов для листов ротора и статора, приспособлений для обработки и режущих инструментов.



Асинх[illegible]чые двигатели мощностью от 1 до 100 *квт* находя[illegible] наибольше[illegible] распространение. Эти двигатели стоят на всех металлорежущих станках, прессах, компрессорах и других механизмах. До 1951 г. электромашиностроительные заводы в нашей стране выпускали девять серий асинхронных двигателей в этом диапазоне мощностей, которые были спроектированы на разных заводах и имели при одинаковой мощности разные конструкции и размеры. При замене двигателя, изготовленного одним заводом, двигателем другого завода приходилось переделывать монтажные площадки, на которых они устанавливаются. С 1951 года эти серии были заменены новой серией асинхронных электродвигателей, которая получила название единой серии. Замена производства старых двигателей единой серией позволила значительно увеличить выпуск двигателей на тех же производственных площадях. Упростился и ремонт двигателей, так как резк[illegible] сократилась номенклатура запасных деталей.

Особенно сильно сказалось внедрение новой серии на производстве и ремонте обмоток. В старых сериях применялось много типов обмоток, несколько марок обмоточных проводов, десятки сортов изоляционных материалов, сотни размеров обмоточных проводов. В единой серии во всех типах двигателей применяются обмотки с мягкими катушками из круглого провода марки ПЭЛБО. Применена единая конструкция изоляции и технология пропитки. Один и тот же провод применяется для нескольких типов двигателей путем изменения числа параллельных проводов и параллельных ветвей обмоток. Благодаря этому номенклатура проводов для всех двигателей основного исполнения серии ограничивается 20 диаметрами.

Значительно усовершенствовался процесс ремонта обмоток двигателей единой серии. Все ремонтные цехи и заводы имеют обмоточные данные двигателей, и замена проводов производится только в случае временного отсутствия провода данного размера. Для всех типов двигателей известны размеры катушек, что дает возможность заранее подготовить универсальные намоточные шаблоны. Все это привело к тому, что ремонт обмоток статора двигателей единой серии производится в условиях, близких к производству обмоток на выпускающих заводах. Стоимость ремонта значительно снизилась, а качество ремонтируемых двигателей поднялось.

В настоящее время осваивается единая серия асинхронных двигателей в пределах мощностей от 100 до 1000 *квт*, что внесет такие же изменения в организацию и технологию ремонта крупных электродвигателей.

Перед ремонтом необходимо точно определить характер неисправности поступившего в ремонт двигателя, что позволяет правильно организовать ремонт, провести его в кратчайшие сроки и обеспечить высокое качество отремонтированного двигателя

Это во многом зависит от теоретических знаний и практического опыта обмотчика.

В условиях мелких ремонтных мастерских отсутствуют многие сложные аппараты и приборы для испытания обмоток, они заменяются упрощенными методами проверки обмоток с применением простейших приборов, часто самодельного изготовления. Здесь приводятся эти методы, разработанные в ремонтных цехах и получившие широкое распространение.

Основными неисправностями обмоток статора асинхронных двигателей являются те же, которые встречаются при контроле обмоток в обмоточных цехах заводов, изготовляющих электродвигатели. Но наряду с этим встречаются двигатели, которые уже находились в ремонте ранее, причем ремонт был проведен с отступлением от технических данных двигателя, а иногда и с нарушением общих требований, предъявляемых к обмоткам. Выявление неисправностей таких двигателей представляет собой иногда сложную задачу.

Здесь будут рассмотрены следующие неисправности обмоток статора и способы их устранения:

неправильная маркировка выводов, витковые замыкания, соединения между катушками разных фаз, обрывы в обмотках и соединение обмотки с корпусом машины.

*Неправильная маркировка выводов* приводит к тому, что фазы обмотки будут иметь несимметрию и двигатель не может нормально работать. В новых сериях двигателей, в том числе в единой серии, отсутствуют дощечки зажимов и выводы обмоток представляют собой гибкие провода с напаянными наконечниками и надетыми бирками. Потеря нескольких бирок или, что еще хуже, ошибочное их укрепление на проводах приводят к неправильному включению обмотки двигателя в сеть. Поэтому у каждого неисправного двигателя надо прежде всего проверить маркировку выводов, а при отсутствии восстановить ее.

Существует несколько методов определения маркировки выводов обмотки статора при отсутствии на них бирок.

При отсутствии обозначения выводов и невозможности их определить, не вскрывая машины, рекомендуется следующий способ[1].

Выводы обмотки статора произвольно обозначают *1—2* для первой фазы, *3—4* для второй и *5—6* для третьей и надевают на них бирки. Соединяют в общую точку выводы с бирками *2*, *4*, *6*, а к выводам *1*, *3*, *5* подводят трехфазный ток пониженного напряжения (рис. 159). Если двигатель не идет в ход, сильно гудит, ток всех фаз различен и превышает номинальное значение, то меняют местами выводы *1* и *2*, т. е. соединяют в общую точку выводы *1*, *4*, *6*. Если при таком соединении неисправность двигателя не будет устранена, то выводы первой фазы снова соединяют, как в первый раз, а поочередно меняют местами выводы второй, а затем третьей фазы. Так путем четырех возможных перемещений выводов добиваются симметрии напряжения всех фаз и нормальной работы двигателя. В той же книге описан другой метод.

[1] Гемке Р. Г., Неисправности электрических машин, Госэнергоиздат, 1950.



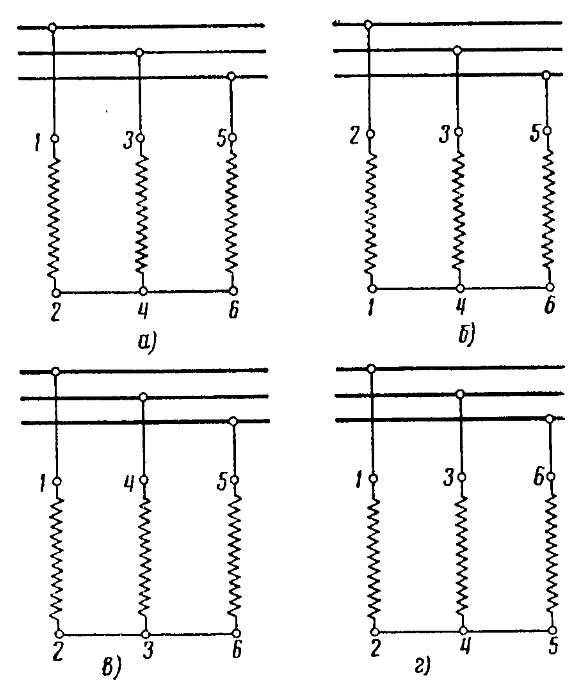



Рис. 159. Проверка маркировки выводов статора:
*а, б, в, г* — перестановки выводных концов

Соединяют последовательно между собой две какие-нибудь фазы обмотки и подводят к ним пониженное напряжение, а к третьей фазе присоединяют вольтметр (рис. 161). Если были соединены разноименные выводы, то в третьей фазе вольтметр покажет напряжение, близкое к напряжению, подведенному от

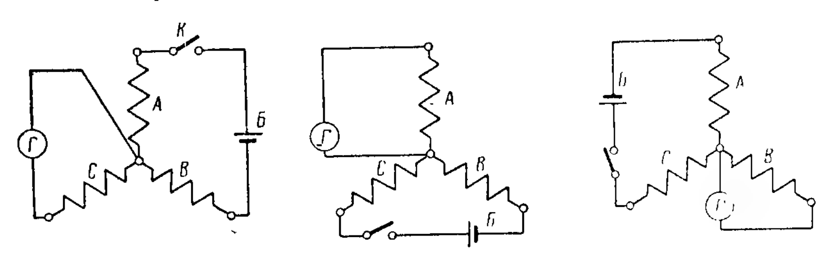



Рис. 160. Проверка маркировки выводов статора

сети. Если же соединены одноименные выводы двух фаз, то вольтметр не покажет напряжения. Определив одноименные выводы двух фаз, переходят к определению выводов третьей фазы. Для этого берут одну из фаз, которые были соединены последовательно, и соединяют ее с третьей фазой, а к оставшейся фазе присоединяют вольтметр. При отсутствии вольтметра можно пользоваться лампой.

Можно производить проверку маркировки и при отсутствии трехфазного тока [1].

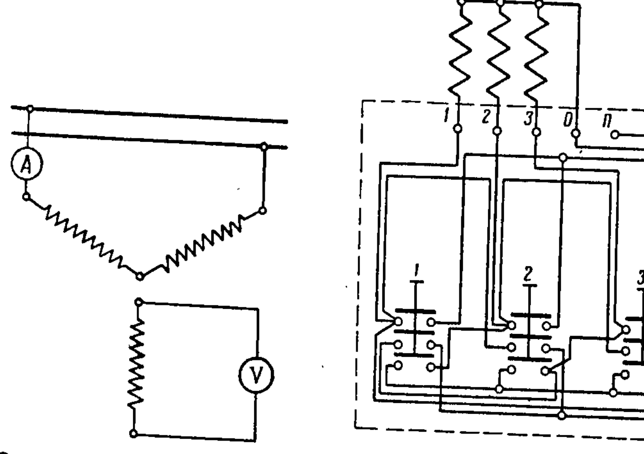



Рис. 161. Проверка маркировки выводов статора

Рис. 162. Схема аппарата для проверки маркировки

Обмотка двигателя произвольно соединяется в звезду (рис. 160). Ключом кратковременно подается напряжение от батарейки карманного фонаря *Б* попеременно на выводы *AB*, *BC* и *CA*, а гальванометр *Г* подключают к фазам *C*, *A*, *B*. При правильном соединении гальванометр при всех измерениях покажет *0*. При неправильном соединении одной фазы гальванометр два раза покажет максимум и один раз *0* в той фазе, у которой надо выводы поменять местами. На рис. 162 показана монтажная схема аппарата, при помощи которого можно быстро определять выводы обмотки. Обмотка произвольно соединяется в звезду и выводы ее подключают к зажимам *1*, *2*, *3* и *0* аппарата. Затем поочередно нажимают кнопки *1*, *2*, *3*. При правильном соединении гальванометр покажет *0* во всех трех случаях. Если при нажатии кнопок *1* и *3* стрелка гальванометра отклоняется, а при нажатии кнопки *2* стоит на *0*, то надо поменять местами выводы фазы *2*.

В качестве гальванометра применен миллиамперметр типа ПМ-70 с нулем посредине шкалы.

[1] Журн. «Энергетик» № 4, 1957 г.



Тумблер *Т* телефонного типа позволяет использовать прибор в качестве щупа для определения выводов одноименных обмоток двигателя, например выводов одной из фаз. При этом надо включить тумблер и пользоваться зажимами *0*, *П*. С помощью такого аппарата можно быстро определить маркировку выводов трехфазных машин любой мощности. Он может быть изготовлен в электроцехе любого предприятия.

Если при определении маркировки выводов одним из описанных методов не при одном соединении не достигается правильная работа двигателя, это указывает на то, что перевернута не вся фаза, а одна или несколько катушек в фазе. Поэтому надо предварительно проверить соединение катушечных групп в фазе. Это можно сделать, например, при помощи аппарата типа СМ. Но в практике ремонтных работ его может не оказаться. Определение же правильности соединений по схеме обмотки не всегда легко сделать, особенно при большом числе параллельных ветвей в обмотке.

В практике ремонтных цехов применяется простой способ проверки правильности соединений катушечных групп при помощи магнитной стрелки [1]. Фаза обмотки питается постоянным током 10—20 *в*. Стрелку передвигают по внутренней окружности статора или по наружной окружности ротора; при правильном выполнении соединений она должна перевертываться на каждом полюсном делении. Если же стрелка дает подряд два одноименных показания, это указывает на неправильное соединение.

На рис. 163, *а* показана схема соединений катушек одной фазы однослойной обмотки статора. В главе VIII было сказано, что в схемах однослойных обмоток должны соединяться разноименные выводы катушек, т. е. «конец» с «началом». В соединении первой и второй катушек на схеме допущена ошибка. Как видно на рисунке, у этих катушек соединены «конец» с «концом». Но эта ошибка повлекла за собой и другую ошибку. У второй и третьей катушек соединены «начало» с «началом». При проверке схемы магнитной стрелкой обнаружены обе ошибки. На рисунке видно, что в соседних положениях *2*, *3* и в положениях *4*, *5* северный конец стрелки указывает в одну сторону. Для исправления обмотки надо все катушки соединить разноименными выводами, т. е. поменять выводы у второй катушки.

На рис. 163, *б* показана схема двухслойной обмотки. Как было сказано в главе IX, у этой обмотки надо соединять одноименные выводы катушек, т. е. «конец» с «концом». Между тем в соединении первой и второй катушек допущена ошибка: соединены «конец» с «началом». Поэтому магнитная стрелка в положениях *1* и *2* показывает северным концом в одну сторону.

Этот метод можно применять для отыскания обрывов в обмотках с несколькими параллельными ветвями. В той части об-

[1] Журн. «Энергетик» № 3, 1957 г.

Рис. 163. Проверка соединений катушек:
*а* — неправильное соединение в однослойной обмотке, *б* — неправильное соединение в двухслойной обмотке, *в* — обрыв в одной из параллельных ветвей, *г* — заземление катушки

мотки, где имеется обрыв, стрелка устанавливается в безразличное положение. На рис. 163, *в* показана одна фаза однослойной обмотки с тремя параллельными ветвями. Вследствие обрыва одного из выводных концов у второй катушки, она осталась обесточенной. Это указывается положением магнитной стрелки.

Для отыскания места соединения обмотки с корпусом один полюс источника тока присоединяют к сердечнику статора, а другой — к началу фазы (рис. 163, *г*). Положение стрелки показывает, что соединение произошло между второй и третьей катушками, поэтому третья катушка осталась без тока.

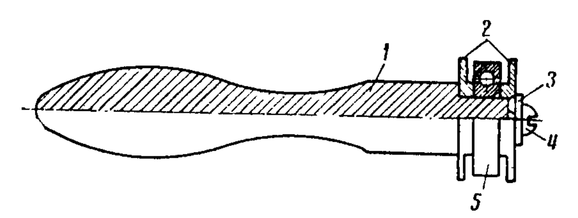



Рис. 164. Ролик для проверки трехфазных обмоток

Описанный метод позволяет проверить обмотку статора или ротора до сборки машины после ремонта. Поэтому им рекомендуется пользоваться для проверки каждой обмотки, выходящей из ремонта.

*Междувитковые замыкания* являются одной из наиболее частых причин выхода обмотки из строя. В главе X были описаны заводские аппараты для обнаружения междувитковых замыканий в обмотках статора, которые сложны по устройству и требуют специального оборудования в виде генераторов повышенной частоты.

В ремонтной практике наряду со сложными аппаратами для испытания обмоток применяются приспособления простейшего типа, которые также позволяют определить дефекты в обмотках. На рис. 164 показано приспособление, которое состоит из шарикоподшипника *5*, надетого на ручку *1* из изоляционного материала и зажатого за внутреннее кольцо между двумя текстолитовыми дисками *2* при помощи винта *4* и шайбы *3*. Внешнее кольцо подшипника может свободно вращаться. Текстолитовые диски выступают над кольцом шарикоподшипника на 0,3—0,5 *мм*. Испытание статора производят следующим образом. К зажимам статора подают пониженное напряжение 15—25% от рабочего напряжения машины. Прибор вставляют в расточку статора так, чтобы текстолитовые диски опирались на внутреннюю поверхность статора. Кольцо шарикоподшипника начинает вращаться под действием вращающегося магнитного поля статора. При наличии короткозамкнутых витков кольцо статора остановится против тех пазов, в которых лежат замкнутые витки. Этим же при-

бором можно проверить и неправильность соединения фаз. При правильном соединении кольцо подшипника будет вращаться в одном направлении при обходе всей окружности статора. Если же при соединении перепутаны начала и концы фаз или катушечных групп, то кольцо подшипника на разных участках окружности статора будет изменять направление вращения. Чем меньше вес кольца и легче его вращение, тем чувствительнее будет прибор.

Применяют и другой очень простой способ обнаружения витковых замыканий в фазах обмотки статора[1]. Статор питают пониженным напряжением трехфазного тока и во все линейные провода включают амперметры. При соединении звездой

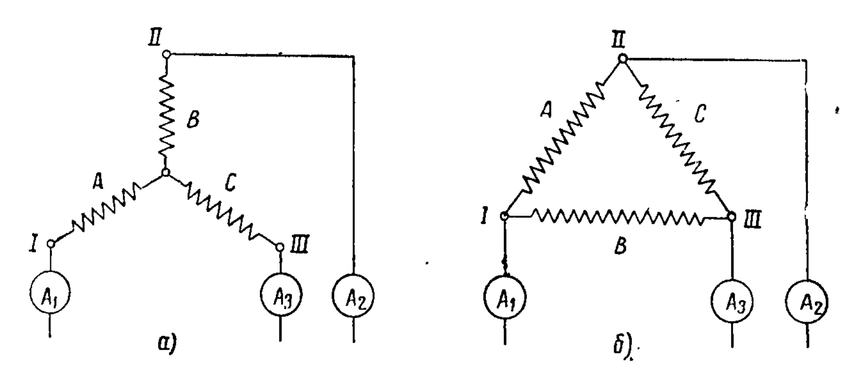



Рис. 165. Схема проверки обмотки на витковое замыкание
*а* — замыкание в фазе *A*, *б* — замыкание в фазе *B*

(рис. 165, *а*) ток в фазе *A*, имеющей витковые замыкания, будет больше, чем в других фазах. При соединении треугольником (рис. 165, *б*) и наличии витковых замыканий в фазе *B* амперметры $A_1$ и $A_3$ покажут бо́льший ток, чем амперметр $A_2$.

Соединения между катушками разных фаз, а также обрывы в фазах при отсутствии испытательного магнита или аппарата типа СМ могут быть обнаружены при помощи контрольной лампы или мегомметра. Для этого надо снять междуфазовые соединения, если они имеются внутри машины и проверить все три фазы на замыкание между собой и на отсутствие обрывов. Соединения между катушками разных фаз должны быть устранены путем дополнительной изоляции, а витки, имеющие обрывы, могут быть отсоединены от обмотки, но с соблюдением условия, что они не будут являться короткозамкнутыми и в обмотке фазы будет создана непрерывная токовая цепь. Нельзя допускать большой несимметрии при отключении витков.

Определение соединений обмотки с корпусом производят мегомметром. Если обмотка имеет три вывода и при наружном осмотре нельзя обнаружить место соединения с корпусом, то распаивают соединения фаз и пофазно проверяют обмотку на корпус мегомметром. После обнаружения поврежденной фазы путем распаивания соединений между катушечными группами определяется поврежденная катушка или секция. Частичный ремонт неисправной катушки можно допустить при хорошем состоянии изоляции на исправной части обмотки. Если же изоляция пересохла и крошится, то необходимо произвести полную перемотку статора.

В крупных машинах распаивание большого числа междукатушечных соединений является трудоемкой работой со снятием их изоляции. Чтобы ее избежать при обнаружении поврежденной катушки, прокалывают изоляцию междукатушечных соединений острым щупом. При соединении с катушкой *3* стрелка милливольтметра перевернется. Схема нахождения поврежденной катушки показана на рис. 166.

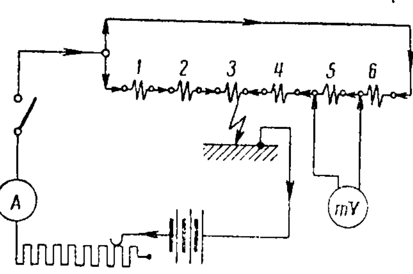



Рис. 166. Обнаружение поврежденной катушки

[1] Журн. «Промышленная энергетика» № 6, 1957 г.

## РЕМОНТ ОБМОТОК РОТОРА

Единая серия асинхронных двигателей в пределах мощностей от 1 до 100 *квт* выпускается главным образом с короткозамкнутым ротором, залитым алюминием. Эти обмотки выполняются вне обмоточных цехов, и ремонтом их обмотчики также не занимаются. Однако небольшая часть двигателей типа АК выпускается с контактными кольцами и с фазными роторами, имеющими обмотки петлевого типа, намотанные из провода прямоугольного сечения. Конструкция катушечной группы такой обмотки показана на рис. 33. При ремонте обмотки, прежде чем вынимать катушечные группы из пазов, нужно выяснить схему обмотки, расположение начал и концов фаз на роторе, а также расположение соединений между катушечными группами. Изменение схемы соединений в процессе ремонта даже при соблюдении условий симметрии обмотки может повести к нарушению балансировки ротора. Однако частичное небольшое нарушение балансировки может произойти и при сохранении схемы. Поэтому в конце ремонта ротор подвергают хотя бы статической балансировке. Для балансировочных грузов у этих двигателей на торцах ротора предусмотрены штампованные кольцевые ободки. При отсутствии шаблона для намотки целой катушечной группы можно при ремонте выполнить обмотку из одиночных катушек, производя их соединение с пропаиванием на торцах ротора.

В двигателях мощностью свыше 100 *квт* фазные роторы выполняются с стержневыми обмотками, как с целым, так и с дробным числом пазов на полюс и фазу. При выполнении ремонта стержневых обмоток ротора надо внимательно снять с обмотанного ротора схему обмотки, особенно при большом числе стержней и полюсов, а также записать шаги обмотки со стороны выводов и с противоположной стороны ротора, расположение начал и концов фаз и перемычек. На концах стержней после зачистки выбивают номера пазов, из которых стержни были вынуты; на роторе надо отметить характерные для схемы пазы путем выбивания цифр на поверхности ротора, чтобы при сборке обмотки после ремонта не нарушить ни механической, ни электрической симметрии. Записав данные для составления схемы обмотки, их проверяют путем составления обмоточной таблицы. Если же обмоточные данные не сходятся с таблицами, то надо составить схему соединений обмотки и проверить, удовлетворяет ли она требованиям электрической симметрии. При этом могут быть обнаружены ошибки, допущенные обмотчиком при снятии схемы с обмотанного ротора.

Следует сделать несколько замечаний по технологии выполнения ремонта стержневой обмотки ротора. Ротор для ремонта устанавливают на прочные козлы, желательно с роликовыми опорами, что намного облегчит повороты ротора при размотке и обмотке. При отсутствии роликов ротор опирают на деревянные подшипники. Под шейки вала кладут листовой свинец и густо смазывают его тавотом. Необходимо проверить горизонтальность ротора, чтобы при поворачивании он не сдвигался в осевом направлении, что может повести к падению ротора с козел. Затем устанавливают причину неисправности и решают вопрос о частичной смене обмотки или об общей перемотке в зависимости от состояния изоляции. В обоих случаях медные стержни должны быть снова использованы, поэтому при разгибке лобовых частей надо обращаться с ними осторожно.

Снимать бандажи нужно сохраняя проволоку, так как для бандажей требуется проволока с высокими механическими свойствами, которой при восстановлении обмотки может не оказаться.

Сматывают проволоку на деревянный барабан, не допуская ее перехлестывания и образования барашков. Для очистки от наплывов припоя проволоку нагревают и протирают чистой тряпкой с канифолью. При этом она облуживается, что упростит и ускорит процесс пропаивания бандажей после ремонта.

Затем приступают к распаиванию хомутиков с помощью паяльной лампы или дугового паяльника. Снятые хомутики осматривают и решают вопрос об их повторном использовании. После снятия хомутиков необходимо концы стержней очистить от наплывов припоя, иначе их будет трудно вытаскивать из пазов. Затем приступают к разгибанию лобовых частей. Стержни вынимаются из пазов в сторону, противоположную выводам, поэтому разгибание лобовых частей делают с стороны выводов. При этом снимают размеры как с нормальных, так и с удлиненных или укороченных стержней. При разгибании нельзя сразу выпрямить лобовую часть первого стержня, так как рядом с ним находятся лобовые части других стержней. Поэтому первый стержень разгибают лишь настолько, насколько позволяет расстояние между стержнями. Второй стержень может быть разогнут на двойную величину, третий — на тройную и т. д. Так обходят окружность ротора до тех пор, пока один из стержней не получит прямолинейную форму. Разгибку лобовых частей производят при помощи ключей, показанных на рис. 137.

После удаления из пазов всех стержней осматривают сердечник ротора, так как при разборке и транспортировке листы ротора могли получить повреждения. Для проверки пазов выстрагивают из твердого дерева клин по форме паза. После очистки пазов в них вставляют гильзы из одного слоя электрокартона толщиной 0,1 *мм* и через пазы протаскивают клин. Если он идет по всей длине паза с одинаковым усилием, то поверхность паза исправна. Если же клин застрянет в некоторых местах, то это служит доказательством того, что зубцы ротора погнуты. О нахождении их по длине ротора судят по вмятинам на гильзе, вставленной в паз перед протаскиванием клина. Погнутые зубцы выправляют стальными оправками.

При загибке и разгибке стержни становятся хрупкими и могут дать трещины. Поэтому после снятия изоляции их отжигают с нагревом до 400° и охлаждают в воде. Поврежденные стержни должны быть заменены новыми, а при отсутствии провода соответствующего размера трещины запаивают твердым припоем. Мелкие повреждения, выгоревшие места до 5% сечения стержня можно наплавить мягким припоем, чтобы защитить гильзы от разрывов краями углубления в стержне. Приготовленные стержни сортируют на верхние, нижние, удлиненные или укороченные и перемычки.

После изолировки стержни раскладывают согласно выбитым на них номерам, отдельно стержни нижнего слоя и стержни верхнего слоя. Укладка стержней в пазы при ремонте производится так же, как при обмотке новых роторов. Однако порядок укладки в этом случае несколько отличается от описанного в главе XVII, так как оба слоя обмотки разгибались с одной стороны ротора. Поэтому и вставлять их в пазы нужно с одной стороны. При этом каждый стержень должен быть уложен в тот самый паз, из которого он был вынут, так как иначе к перемычкам и выводам пойдут стержни с лобовыми частями более длинными, чем требуется, а оставшиеся стержни с укороченными лобовыми частями не дадут возможности выдержать шаг обмотки. После укладки и загибки необходимо проверить длину вылета лобовых частей.

## РЕМОНТ ОБМОТОК ЯКОРЯ

При ремонте якоря могут встретиться все виды неисправностей, которые бывают при испытаниях обмотанных якорей в цехе. К ним относятся: междувитковые замыкания, соединения обмотки с корпусом, обрывы в обмотках и неправильные соединения концов обмотки с коллектором. Однако между испытаниями готовых якорей на электромашиностроительном заводе и обнаружением характера неисправностей при ремонте обмоток имеются существенные отличия. Прежде всего неисправные новые якори встречаются как исключение и поэтому испытания заключаются в проверке якорей на отсутствие междувитковых замыканий или обрывов в обмотке. Что касается соединений с корпусом, то они в новых якорях, как правило, отсутствуют.

При ремонте обмоток все якори, поступающие в цех, являются неисправными, причем эти неисправности имеют гораздо больше разновидностей. В ремонтируемых якорях неправильные соединения обмотки с коллектором отсутствуют, так как обмотка была проверена при выпуске якоря с завода, а в процессе эксплуатации этот вид неисправности не может образоваться. Наоборот, соединение обмотки с корпусом в одном или в нескольких местах является почти таким же частым явлением, как и междувитковые замыкания.

Однако в ремонт попадают не только якори машин, выпущенных электромашиностроительным заводом, но и якори, уже проходившие ранее ремонт. Если первый ремонт был выполнен недоброкачественно и якорь не был достаточно хорошо испытан, то при втором ремонте могут быть обнаружены самые необычные неисправности, которые никогда не встречаются в якорях с обмотками заводского изготовления.

Из сказанного следует, что от обмотчика, занятого ремонтом, требуется больше знаний и практического опыта, чем от обмотчика, выполняющего обмотку новых якорей на заводе.

Средства для обнаружения неисправностей, которыми пользуется обмотчик при ремонте, зависят от условий работы. Если ремонт производится в обмоточном цехе завода, выпускающего электрические машины, или в обмоточном цехе крупного электроремонтного завода, то при ремонте пользуются теми же испытательными аппаратами, которые были описаны в главе XIX. В мелких ремонтных мастерских или при выездных работах приходится применять упрощенные методы проверки обмоток, которые частично описаны в этой главе.

Что касается технологических приемов выполнения ремонта, то здесь будут отмечены только особенности некоторых ремонтных операций, так как в основном процесс перемотки должен выполняться так же, как и процесс обмотки новых якорей. Рассмотрим различные виды неисправностей обмотки якоря и способы их устранения.



Соединение обмотки с корпусом является следствием старения изоляции, механических повреждений изоляции листами якоря, протирания пазовой изоляции в случае перемещений катушки относительно стенок паза или соединения пластин коллектора с корпусом. В машинах малой мощности соединение обмотки с корпусом происходит при задевании якоря за полюса.

Если обмотка имеет соединение с корпусом в одной точке, то это не сказывается на работе машины. При незаземленном корпусе соединение обмотки с корпусом в одной точке будет ощущаться при прикосновении к корпусу; как говорят, корпус «бьет» на землю. Поскольку согласно правилам техники безопасности все промышленные электродвигатели имеют заземление корпуса, то соединение обмотки с корпусом в одной точке не обнаруживается. Но наличие одного соединения повышает вероятность пробоя изоляции в другом месте, так как толщина изоляции, выдерживающей рабочее напряжение машины, стала вдвое меньше. Как только произойдет соединение обмотки с корпусом в другом месте, часть обмотки между этими точками окажется замкнутой накоротко, появится сильное искрение на коллекторе, а из якоря пойдет дым вследствие обугливания изоляции. Эти же явления будут наблюдаться и при соединении обмотки с корпусом в одной точке, если имеется заземление в сети.

Если соединение с корпусом произошло вследствие старения изоляции, то якорь надо перемотать заново с сохранением всех технических требований, предъявляемых к новой обмотке. Однако при соблюдении норм планово-предупредительного ремонта машина не остается в эксплуатации до полного изнашивания ее частей, в том числе и изоляции. Поэтому соединение с корпусом необходимо устранить, чтобы машина могла продолжать работать.

Наличие соединения обмотки с корпусом можно обнаружить, не разбирая машины. Для этого надо взять контрольную лампу и один провод присоединить к валу, а другим поочередно касаться коллекторных пластин. В однократкозамкнутой обмотке контрольная лампа загорится при соединении с любой коллекторной пластиной. В машинах с обмоткой из многовитковых катушек лампа будет гореть более ярко при касании с той пластиной, которая присоединена к катушке, имеющей соединение с корпусом. Однако при помощи контрольной лампы можно обнаружить только такое соединение обмотки с корпусом, при котором имеется металлический контакт. Поэтому лучше пользоваться мегомметром, стрелка которого укажет на наличие соединения обмотки с корпусом при окислившемся или подгоревшем контакте между ними. Иногда соединение с корпусом имеет перемежающийся характер. Оно устанавливается при вращении якоря, а при остановке якоря пропадает, так как между проводом обмотки и корпусом образуется воздушный промежуток. Соединение происходит под действием центробежной силы, перемещающей об-

мотку при вращении. В таких случаях после разборки машины присоединяют к валу и коллектору контрольную лампу, поочередно покачивают при помощи деревянного клина лобовые части катушек в местах выхода их из пазов. Катушку, соединенную с корпусом, можно обнаружить по миганию контрольной лампы. Если лампа не загорается, то надо повторить этот же опыт с применением мегомметра.

Убедившись в том, что обмотка имеет соединение с корпусом, определим место соединения. Это можно сделать по методу падения напряжения, который был описан в главе XIX. Для того чтобы правильно определить положение на якоре мест соединения с корпусом, нужно знать тип обмотки, так как для петлевой и для волновой обмотки методы проверки якоря различны.

Если якорь имеет *петлевую* обмотку, питание его постоянным током производится через две пластины, находящиеся на противоположных точках окружности коллектора (рис. 154, *б*). В качестве источника постоянного тока может быть применена аккумуляторная батарея, а при отсутствии ее сеть постоянного тока 110 или 220 *в*. Ток регулируется реостатом в пределах 5—10 *а*. Один из проводов милливольтметра с пределом измерений 15—45 *мв* присоединяют к валу, а другим поочередно касаются коллекторных пластин. По мере приближения к пластине, имеющей соединение с корпусом, показания милливольтметра будут уменьшаться, а на соединенной с корпусом пластине он должен показать 0. При отсутствии металлического контакта показания милливольтметра на соединенной с корпусом пластине коллектора будут минимальными, а затем снова начнут увеличиваться.

Обнаружив катушку, соединенную с корпусом, надо найти место соединения и изолировать его. Часто соединения наблюдаются в местах выхода катушек из пазов, когда изолированная поверхность обмоткодержателей ниже дна паза. Изоляция катушек, не имеющих снизу поддержки, нарушается давлением бандажа. В таких случаях можно легко устранить соединения, забивая на дно паза прокладки из гетинакса при снятых бандажах на лобовых частях. Если одна секция обмотки имеет соединение с корпусом, то можно отключить ее от обмотки, не вынимая из пазов. Для этого надо концы секции отключить от коллекторных пластин и изолировать, а между коллекторными пластинами на торцовой стороне впаять медную пластинку, чтобы не было обрыва в обмотке. При большом числе пластин это не скажется на работе машины. На рис. 167, *а* показан способ отключения секции катушки, имеющей соединение с корпусом.

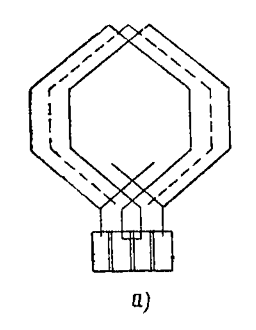
Если якорь имеет *волновую* обмотку, то питание якоря постоянным током должно производиться через две коллекторные пластины, находящиеся на расстоянии половины коллекторного шага. В четырехполюсной машине эти пластины находятся на расстоянии четверти окружности коллектора. Милливольтметр приключают одним концом к валу, а другим поочередно ко всем



коллекторным пластинам. При этом достаточно проверить милливольтметром напряжения между валом и пластинами, заключенными в шаге обмотки по коллектору, а не обходить весь коллектор. Меньшие показания милливольтметра будут на пластинах, имеющих соединение с корпусом или соединенных с ними секциями обмотки. Определив наличие соединения в обходе обмотки, можно путем деления обхода на секции определить и секцию, имеющую соединение с корпусом. При соединении с корпусом одной секции в волновой обмотке придется отключить весь обход обмотки, состоящий из $p$ последовательно соединенных секций ($p$ — число пар полюсов). На рис. 167, *б* показан способ отключения обхода в шестиполюсной обмотке.

*Замыкания между витками обмотки* якоря могут появиться в результате повреждения изоляции или самого провода или катушки. В первом случае будут замыкания между витками одной катушки, а во втором — замыкания между соседними катушками.

Выше уже было сказано, что в обмотке якоря протекает переменный ток и в замкнутых витках будут образовываться очень большие токи, так как сопротивление катушки мало. Признаками витковых замыканий является нагрев обмотки, который вызывает распаивание соединений с коллектором и обугливание изоляции. При длительной работе машины с короткозамкнутыми витками происходит их выгорание и образуется электрическая дуга, которая может оплавить и листы сердечника якоря. При наличии витковых замыканий появляются большие уравнительные токи, создающие сильное искрение на коллекторе.



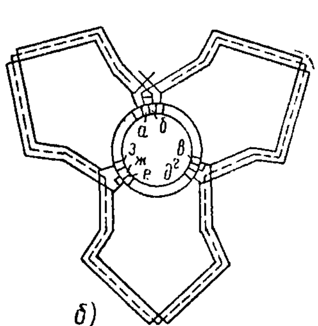




Рис. 167. Отключение секции, имеющей соединение с корпусом:
*а* — в петлевой обмотке, *б* — в волновой обмотке

Обнаружение короткозамкнутых витков в обмотке якоря может быть произведено несколькими способами, описанными в главе XIX. Из них проверка электромагнитом (см. рис. 153) допускается лишь для якорей небольших машин без уравнительных соединений. Якори крупных машин и якори с уравнительными соединениями или с лягушечьей обмоткой должны пройти проверку на междувитковые замыкания методом падения напряжения (см. рис. 154) или аппаратом типа СМ (см. рис. 156).

При большом числе междувитковых соединений обмотка должна быть перемотана с заменой изоляции. Если число замкнутых

секций или витков секции невелико, а машину нужно срочно выпустить из ремонта, то можно отключить замкнутые секции. На рис. 168, *а* показано замыкание одного витка в четырехвитковой секции обмотки якоря. На рис. 168, *б* пунктиром показаны отключенные витки, концы которых изолированы для избежания образования замкнутых контуров. Вместо одного пришлось отключить два витка, чтобы в оставшейся части секции не было короткозамкнутых контуров.

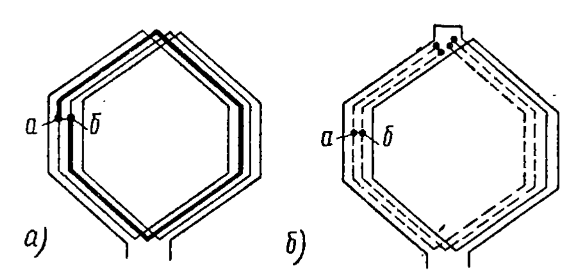



Рис. 168. Отключение секции с витковыми замыканиями:
*а* — замкнутый виток, *б* — отключение витка

Причина междувитковых замыканий может заключаться не только в нарушении изоляции катушек. При паянии коллектора или бандажей кусочек припоя может попасть внутрь коллектора, и с течением времени замкнуть две коллекторные пластины. По схемам обмоток легко установить, что при петлевой обмотке замыкание двух соседних коллекторных пластин вызовет короткое замыкание одной секции обмотки, приключенной к этим пластинам. При волновой обмотке будет замкнут накоротко целый обход обмотки, состоящий из $p$ последовательно соединенных секций. Замыкание между пластинами коллектора может быть обнаружено только после отпайки верхнего слоя концов обмотки.

На электромашиностроительном заводе такой коллектор заменяют другим. При ремонте устраняют замыкание между пластинами путем частичной разборки коллектора. Разборку надо произвести так, чтобы не нарушить его цилиндрическую форму. Для этого на коллектор надевают диск, плотно пригнанный к диаметру коллектора (рис. 169). Его стягивают шпильками с другим диском, упирающимся в противоположный торец якоря. В диске имеется вырез, который устанавливают против замкнутых пластин. После затяжки гаек на шпильках отвертывают гайку коллектора *1* и снимают переднюю нажимную шайбу *2*. Затем осторожно выбивают замкнутые коллекторные пластины, устраняют причину замыкания и снова ставят их на свое место. Переднюю нажимную шайбу коллектора снова вкладывают в выточку ласточкина хвоста и затягивают гайку. После нагрева коллектора до 110° с целью размягчения изоляции гайку надо снова подтянуть.



Тогда можно снять диски и впаять в петушки коллектора концы обмотки якоря. После ремонта рабочую поверхность коллектора надо проточить и отполировать. Якорь проверяют на отсутствие междувитковых замыканий и отправляют на сборку машины.

*Обрывы в обмотках якоря* бывают двух видов. В обмотках из тонкого провода при сильном натяжении бандажей и отсутствии у лобовых частей поддержки со стороны обмоткодержателей могут оборваться провода обмотки. В обмотках из прямоугольного провода обрыв в цепи якоря происходит вследствие распаивания соединений с коллектором, а в разрезных обмотках — также распаивания хомутиков со стороны, противоположной коллектору.

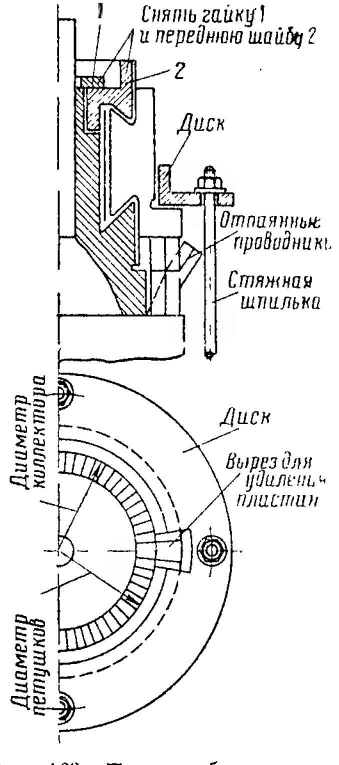



Рис. 169. Приспособление для ремонта коллектора

У генераторов с обрывами в обмотке якоря затруднен процесс самовозбуждения, а двигатели имеют пониженное число оборотов. Искрение на коллекторе вызывает подгорание коллекторных пластин и краев щеток. В обмотке в местах обрывов образуются электрические дуги, которые могут вызвать расплавление не только проводов обмотки, но и листов сердечника якоря. У обмоток из прямоугольного провода все эти признаки сначала проявляются в меньшей степени, пока имеют место плохие контакты в местах паяния. Но если машина не будет вовремя остановлена для ремонта, то произойдет полное нарушение контакта. Если обмотка имеет уравнительные соединения, то подгорают не только пластины коллектора, соединенные с оборванной секцией, но и другие, связанные с ними уравнительными соединениями. В волновой обмотке при наличии одного обрыва будут подгорать $p$ пластин, соединенных одним обходом обмотки.

Чтобы найти место обрыва, пользуются теми же методами, что и для обнаружения витковых замыканий. Качество контактов паяных соединений проверяют при помощи аппарата, схема которого дана на рис. 154, *а*.

В случае обрыва в одной секции обмотки она может быть отключена так же, как секции, имеющие соединение с корпусом. Схема отключения показана на рис. 170.

*Неправильные соединения концов обмотки* с коллектором

имеют много разновидностей; наиболее часто встречающиеся из них в петлевых обмотках показаны на рис. 171. Неправильные соединения имеют место в обмотках из тонкого провода, так как концы катушек из прямоугольного провода невозможно поменять местами при укладке их в прорези коллекторных пластин.

На рис. 171, *а* показан так называемый крест, при котором концы секции поменялись местами. Электродвижущая сила такой секции направлена встречно по отношению к соседним, что вызывает искрение на коллекторе. Ввиду нарушения симметрии появятся уравнительные токи между параллельными ветвями обмотки. Эта неправильность не может быть выявлена методом падения напряжения, так как напряжение между коллекторными пластинами *3* и *4* остается таким же, как и для правильно соединенных секций. Для обнаружения «креста» в петлевой обмотке к двум противоположным пластинам коллектора подводят постоянный ток и обводят якорь магнитной стрелкой, в качестве которой может служить стальное перо, подвешенное на нити. Стрелку подводят к каждому пазу. Если секция включена неправильно, то магнитная стрелка повернется другим концом по сравнению с ее положением против других пазов с правильным соединением секций обмотки. Если же кресты сделаны у всех секций обмотки, то это равносильно замене левой обмотки на правую или наоборот. Генератор с такой неисправностью не может самовозбудиться, а электродвигатель будет вращаться в обратную сторону. Для того чтобы машина восстановила свои

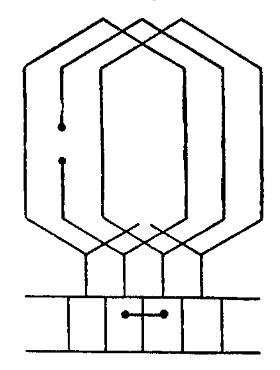


Рис. 170. Отключение секции, имеющей обрыв

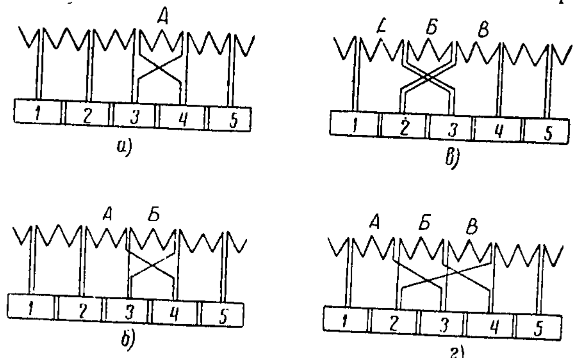



Рис. 171. Неправильные соединения обмотки с коллектором:
*а* — простой крест, *б* — двойное перекрещивание, *в*, *г* — тройное перекрещивание



свойства, надо изменить полярность полюсов, т. е. направление тока в обмотке возбуждения.

На рис. 171, *б* конец секции *А* вместо пластины *3* присоединен к пластине *4*, а конец секции *Б* вместо пластины *4* присоединен к пластине *3*. При такой ошибке в соединениях секция *Б* оказалась замкнутой накоротко. При проверке якоря методом падения напряжения милливольтметр не покажет напряжения между парами пластин *2—3* и *3—4*, так как пластина *3* оказывается как бы изолированной. Это можно обнаружить и контрольной лампой, которая покажет обрыв между этими парами коллекторных пластин. Отсутствие напряжения между коллекторными пластинами бывает также при витковых замыканиях. Поэтому, чтобы отличить эти два дефекта, надо померить напряжение между пластинами *2* и *4*. Если прибор покажет между ними такое же напряжение, как и между другими пластинами, то это означает, что перепутаны концы. На рис. 171, *в* показано, как могут быть перепутаны концы трех секций *А*, *Б* и *В*. Это может быть только в ручных обмотках, когда перепутаны местами две петли, вкладываемые в прорези коллекторных пластин. При проверке якоря методом падения напряжения с питанием через две противоположные коллекторные пластины стрелка милливольтметра, приключенного к пластинам *2—3*, отклонится в обратную сторону, а на парах пластин *1—2* и *3—4* будет примерно двойное напряжение по сравнению с другими парами коллекторных пластин.

На рис. 171, *г* показан другой случай перепутывания концов в ручных обмотках. Конец секции *А* скручен в петлю с концом секции *В* и оба они соединены с пластиной *3*. Конец секции *Б* скручен в петлю с концом секции *В*, которая соединена с пластиной *2*. Конец секции *Б* присоединен к пластине *4* вместо пластины *3*. При проверке якоря методом падения напряжения милливольтметра, приключенного к пластинам *2—3*, отстрелка отклонится в обратную сторону, а между пластинами *1—2* и *3—4* будет двойное напряжение.

Во всех рассмотренных случаях необходимо распаять соединения концов обмотки с коллектором, исправить неправильные соединения и снова запаять коллектор.

В процессе ремонта приходится поднимать стороны катушек из пазов. У машин, длительное время находившихся в эксплуатации, стороны катушек настолько плотно прилегают к стенкам пазов, что на них остаются следы листового строения зубцов. Это объясняется тем, что при работе генератора и двигателя вращающий момент создается от взаимодействия между проводами в пазу и зубцами.

Поэтому подъем сторон катушек из пазов нужно производить осторожно, чтобы не прорезать изоляцию катушек. Если катушки туго сидят в пазах, якорь перед размоткой надо нагреть в печи до 85—90°. Подъем катушек делают при помощи клина из твердого дерева со скругленным концом (рис. 172), который заби-

вают сначала между сторонами катушек, а при подъеме нижнего слоя катушек — между дном паза и нижней катушкой.

В процессе выполнения ремонтных работ часто приходится производить намотку бандажей без бандажировочного станка. В этих случаях вращение якорю сообщается вручную при помощи рычага с рукоятками, надетого на конец вала. Для созда-

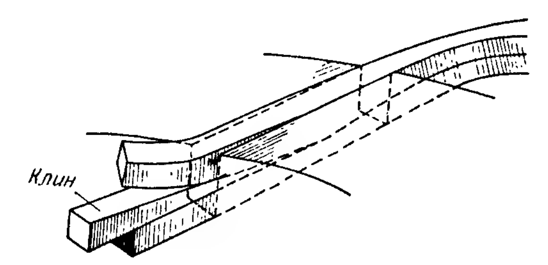



Рис. 172. Выемка катушки якоря из паза

ния натяжения бандажной проволоки применяют различные способы. На рис. 173 показано, как можно создать натяжение проволоки, обмотав ее несколько раз вокруг пенькового каната, конец которого привязан к неподвижной опоре. Регулировку натяжения

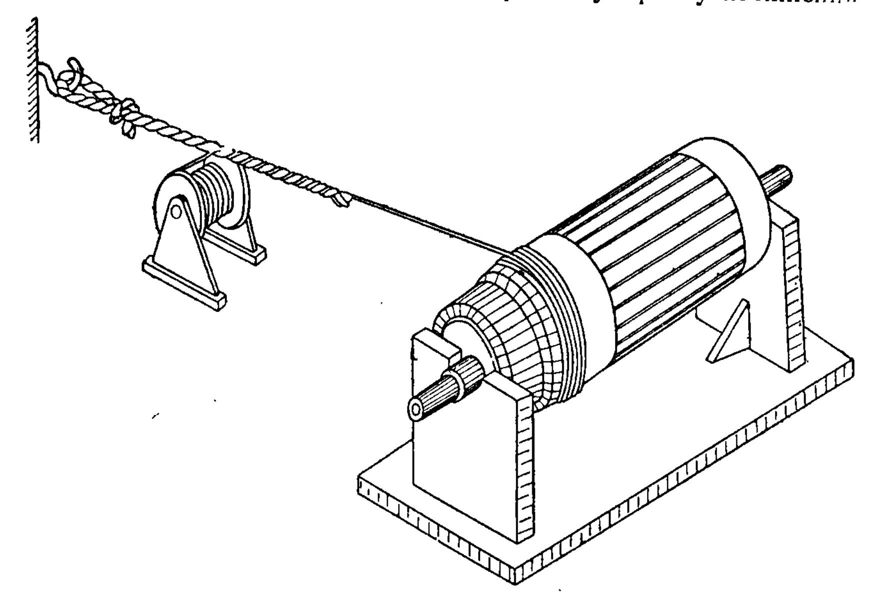


Рис. 173. Намотка бандажа без станка

проволоки осуществляют путем закручивания каната. Для контроля натяжения необходимо конец каната прикрепить к крюку динамометра.

В практике ремонтных работ хорошо зарекомендовал себя



так называемый способ «петли», который позволяет создавать заданное натяжение бандажной проволоки и выдерживать его даже при отсутствии динамометра. Этот способ заключается в следующем. Сначала всю длину проволоки, из которой должен быть намотан бандаж, наматывают на якорь в местах, свободных от бандажей с произвольным небольшим натяжением. Затем закрепляют концы проволоки на якоре *1*, оттягивают один виток в виде петли и заводят в него блок *2* с желобком по окружности (рис. 174). К серьге ролика привязан трос, который перекиды

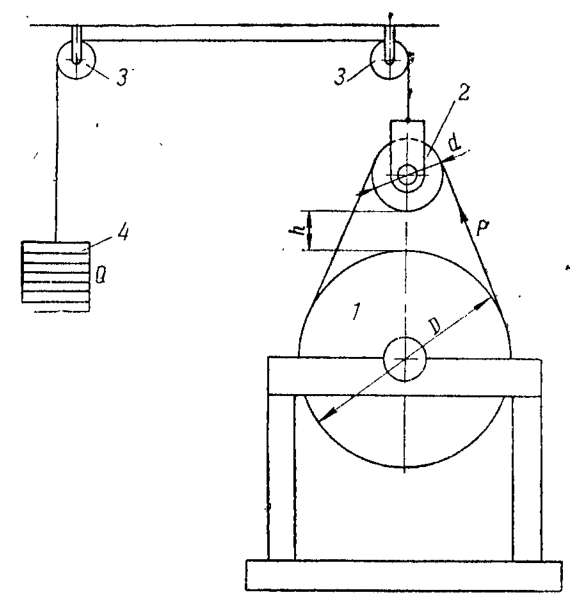



Рис. 174. Натяжение бандажной проволоки грузом

вают через два направляющих ролика *3* и к концу его привязывают груз *4*, создающий натяжение проволоки. После этого начинают вращать якорь и перематывать проволоку на места расположения постоянных бандажей на якоре. Натяжение зависит от величины груза и от угла между ветвями бандажной проволоки, который в свою очередь зависит от расстояния $h$ между окружностями якоря и блока, а также от диаметров якоря и блока. С уменьшением расстояния $h$ натяжение проволоки будет увеличиваться.

Для получения требуемого натяжения проволоки $P$ надо выдерживать следующие соотношения[1].

Величина груза берется $Q = 1{,}95\ P$ *кг*,

[1] Клоков Б. К., Создание натяга при намотке проволочных бандажей. Информационный бюллетень БКЭМ № 5, 1956.

где $P$ — натяжение для выбранного диаметра проволоки по табл. 9.

Минимальное начальное расстояние между окружностями якоря и ролика определяется по следующей формуле:

$$h = 1{,}1\,D - 2d,$$

где $D$ — диаметр якоря;

$d$ — диаметр блока.

Необходимо при этом иметь в виду, что по мере намотки бандажа петля будет все время удлиняться, поэтому следует предусмотреть достаточно большой ход натяжного блока 2.

**Пример**. Диаметр якоря $D = 750$ *мм*, диаметр блока $d = 100$ *мм*, диаметр проволоки 1,5 *мм*.

Натяжение проволоки должно быть $P = 120$ *кг*.

Определяем величину груза $Q = 1{,}95$ $P = 234$ *кг*.

Расстояние $h = 1{,}1 \times 750 - 2 \times 100 = 625$ *мм*.

При этом фактический натяг проволоки составит в начале намотки примерно 1,02 $P = 122$ *кг*, а в конце намотки 0,97 $P = 118$ *кг*.

Преимущество этого способа натяжения проволоки заключается в том, что усилие вращения якоря не зависит от величины натяжения проволоки. Это объясняется тем, что натяжения двух ветвей проволоки уравновешиваются и не создают момента, приложенного к якорю. Если перестать вращать якорь, то натяжение проволоки сохраняется.

## РЕМОНТ ПОЛЮСНЫХ КАТУШЕК

Полюсные катушки разделяются на проволочные и шинные, которые имеют различную технологию изготовления, о чем было сказано в главе IV.

Полюсные катушки применяются в машинах постоянного тока и в синхронных машинах. Первые являются неподвижными, что упрощает условия их работы и делает их более надежными в эксплуатации. Наоборот, вращающиеся катушки синхронных машин подвергаются действиям больших центробежных сил, в несколько раз превосходящих вес катушек. Поэтому многослойные полюсные катушки синхронных машин требуют особенно тщательного исполнения. Для них надо применять провод с усиленной изоляцией (ПБД, ПДА) и при намотке прокладывать полоски электрокартона между слоями. Значительно надежнее катушки синхронных машин, намотанные на ребро из медных шин. Но и они при большой длине полюса подвержены выпучиванию витков на боковых сторонах полюса, поэтому между ними ставят распорки.

Неисправности полюсных катушек имеют меньше видов по сравнению с якорными обмотками. Это в основном замыкания между витками и редко соединение катушки с корпусом.

Особенностью полюсных катушек является то, что по ним протекает постоянный ток, поэтому в короткозамкнутых витках не



наводятся электродвижущие силы и не протекают токи короткого замыкания. Катушки с замкнутыми витками не только не получают сильного нагрева, но даже бывают холодней других, так как при меньшем числе витков, по которым протекает ток, в них выделяется меньше потерь энергии.

Второй особенностью полюсных катушек являются большие размеры сечения катушки, во много раз превышающие сечения катушек, лежащих в пазах. Это надо учитывать при перемотке. Если, например, катушку наматывать со слишком слабым натяжением провода, то она значительно увеличится в размерах и ухудшится охлаждение внутренних витков.

Наиболее часто повреждения катушек случаются в переходах из слоя в слой, в местах крепления выводов и в углах полюсов.

Нахождение катушки, имеющей соединение с корпусом, производят следующим образом. Отключают катушки от якоря и пропускают через них постоянный ток. К катушкам параллельного возбуждения можно подвести номинальное напряжение машины, а к катушкам последовательного возбуждения — пониженное напряжение. Один провод от вольтметра присоединяют к корпусу, а другим поочередно касаются соединительных проводов или выводных пластин катушек. Если соединения имеют сплошную изоляцию, то надо пользоваться острыми щупами, прокалывающими изоляцию. Наименьшие показания вольтметра будут с обеих сторон от катушки, имеющей соединение с корпусом. Для проверки катушек последовательного возбуждения надо пользоваться милливольтметром, а в цепь питания ввести регулировочный реостат. Если катушка состоит из нескольких секций, как показано на рис. 22, *в*, то, обнаружив поврежденную катушку, повторяют испытание путем присоединения вольтметра к соединениям между секциями катушки.

Обрывы бывают только в катушках, намотанных из тонкого провода. Признаками обрыва обмотки возбуждения машин постоянного тока являются отсутствие напряжения на зажимах генератора и резкое увеличение скорости вращения двигателя. Обрыв узнают по показаниям вольтметра, присоединяемого поочередно к выводам каждой катушки при питании их постоянным током. При этом на исправных катушках вольтметр не даст показаний, а при соединении с оборванной катушкой покажет полное напряжение, так как через вольтметр будет восстановлена токовая цепь.

Обрыв можно обнаружить и при помощи мегомметра или контрольной лампы, проверяя соединения между собой выводов каждой катушки при отключении их от источника питания.

Замыкания небольшого числа витков катушки возбуждения между собой не сказываются на работе машины. Особенно нечувствительны к замыканиям витков машины с уравнительными соединениями.

При значительном числе замкнутых витков и отсутствии урав-

нительных соединений в обмотке якоря машина начинает искрить на коллекторе, у генератора снижается напряжение, а у двигателя возрастает скорость вращения. Катушка полюса с замкнутыми витками узнается на ощупь по меньшему нагреву. Более точно витковые замыкания можно определить, надев катушку на сердечник испытательного трансформатора, обмотка которого питается переменным током. Тогда в замкнутых витках полюсной катушки потекут сильные токи короткого замыкания, катушка начнет быстро нагреваться и задымит. Чтобы надеть и снять полюсные катушки, верхнее ярмо сердечника испытательного трансформатора делают съемным. Можно, не снимая катушек с полюсов, питать цепь катушек возбуждения переменным током.

У катушки с замкнутыми витками будет наблюдаться пониженное падение напряжения и усиленный нагрев. Напряжение подбирают таким, чтобы сила тока в катушках не превосходила номинальную силу тока при работе машины. При таком испытании на якоре образуется высокое напряжение, поэтому надо соблюдать меры предосторожности против поражения током. Катушки, намотанные на металлический каркас, плохо поддаются испытаниям переменным током.

После обнаружения дефектной катушки устраняют повреждение и снова собирают катушки на полюса. После ремонта необходимо проверить правильность чередования полярности полюсов при питании катушек постоянным током посредством магнитной стрелки. В разобранной машине стрелкой обводят внутреннюю поверхность полюсов, а в собранной машине стрелку подносят к головкам полюсных болтов.

## ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСЛЕ РЕМОНТА

Каждая машина после ремонта подвергается испытаниям при которых проверяется качество ремонта и годность машины для дальнейшей работы. Испытания проводятся по определенной программе. Асинхронные двигатели мощностью до 100 *квт* при напряжении до 500 *в* проходят испытания по следующей программе:

а) внешний осмотр;

б) измерение сопротивления изоляции между фазами и относительно корпуса;

в) испытание электрической прочности изоляции между фазами и относительно корпуса;

г) испытание витковой изоляции;

д) измерение омического сопротивления обмотки;

е) опыт холостого хода.

Если при ремонте производилась перемотка машины на другие напряжения или скорости вращения, то к этой программе добавляется испытание двигателя под нагрузкой.

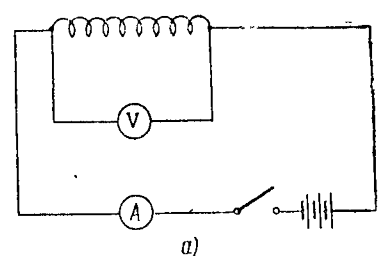
*Внешний осмотр* заключается в проверке качества сборки.

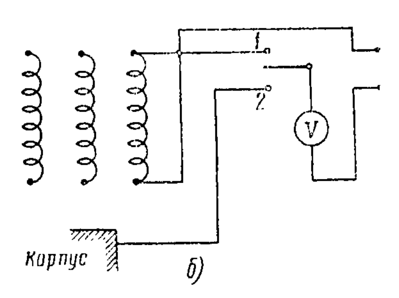


прочности крепления вентилятора, легкости вращения вала в подшипниках, наличия смазки, отсутствия задевания вращающихся частей за неподвижные, отсутствия повреждений лобовых частей обмотки статора, исправности выводных проводов и наличия на них бирок, измерений воздушного зазора щупом. У двигателей с контактными кольцами, кроме этого, проверяется поверхность контактных колец, исправность щеткодержателей и притирка щеток.

*Измерение сопротивления изоляции* производится мегомметром на 500 *в*. В короткозамкнутых двигателях один конец от мегомметра приключают к зачищенному месту на корпусе, а другой — к выводам от каждой фазы попеременно. Для двигателей с фазным ротором один конец от мегомметра присоединяют к валу, а другой — к контактным кольцам. Сопротивление изоляции между фазами измеряется мегомметром между выводными концами двух фаз. Измерение производится в холодном состоянии машины.

При отсутствии мегомметра можно измерить сопротивление изоляции вольтметром при наличии постоянного тока. Измерение сопротивления изоляции по отношению к корпусу производится по схеме рис. 175, *б*, а сопротивление изоляции между фазами по схеме рис. 175, *в*.



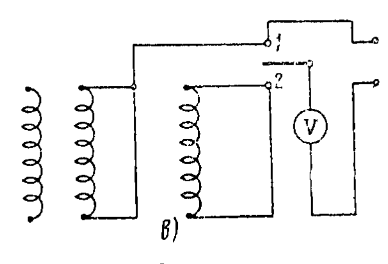




Рис. 175. Схемы проверки обмоток:

*а* — измерение сопротивления обмотки *б* — измерение сопротивления изоляции по отношению к корпусу, *в* — измерение сопротивления изоляции между фазами

Сопротивление изоляции определяют по следующей формуле:

$$R = R_в\left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right) \ ом,$$

где $R_в$ — сопротивление вольтметра по паспорту в омах (надо подобрать вольтметр с сопротивлением от 50 000 до 200 000 *ом*);

$U_1$ — показание вольтметра при включении переключателя в положении *1*;

$U_2$ — показания вольтметра при включении переключателя в положении *2*.

**Пример 1.** $U_1 = 220$ *в*, $U_2 = 20$ *в*, $R_в = 200\,000$ *ом*.

Сопротивление изоляции $R = 200\,000 \left[\frac{220}{20} - 1\right] = 2\,000\,000$ *ом* = = 2 мегома.

*Испытание электрической прочности изоляции* между фазами и относительно корпуса производится переменным током от трансформатора. Величина испытательного напряжения в случае полной замены обмотки берется по ГОСТ 183—55 (см. главу X «Испытание электрической прочности изоляции»). Испытание начинается с напряжения, не превышающего 30% от испытательного. Подъем напряжения производится постепенно и продолжается от половинного значения до полного не менее 10 сек. Максимальная величина испытательного напряжения выдерживается в течение 1 мин.

*Испытание витковой изоляции* производится при вращении двигателя; к зажимам статора подводят напряжение, равное 130% номинального, в течение 5 мин. Повышенное напряжение берут от индукционного регулятора, а при отсутствии его от асинхронного двигателя с фазным ротором соответствующей мощности и напряжения. Для этого ротор застопоривают тормозом, обмотку ротора соединяют в звезду и подключают к сети трехфазного тока, а от обмотки статора берут испытательное напряжение. Оно будет изменяться при медленном проворачивании ротора от руки в пределах одного оборота. В цепь обмотки статора должен быть включен вольтметр.

*Измерение омического сопротивления обмоток* производится при помощи моста, как было описано в главе X. При отсутствии моста можно измерить сопротивление обмотки методом вольтметра и амперметра. Этот метод основан на падении напряжения в обмотках фаз статора, включаемых раздельно. Через обмотку пропускают небольшой постоянный ток от аккумуляторной батареи напряжением 4—6 *в*, емкостью 40—60 *а-ч*, с разрядным током 10 *а*. Регулирование тока производят реостатом с сопротивлением 10—15 *ом*, рассчитанным на ток 6—8 *а* (рис. 175, *а*). Измерения производят двумя милливольтметрами магнитоэлектрической системы. Один из них включается в качестве вольтметра с несколькими пределами измерений путем подключения к нему добавочных сопротивлений, а другой в качестве амперметра посредством подключенных к нему внешних шунтов. Колебания стрелок указывают на плохое качество контактов.

**Пример 2.** Определить сопротивление фазы статора при пределах измерения вольтметра 5 *в*, а амперметра 10 *а* при числе делений шкал приборов 200. Показания приборов 120 делений и 100 делений шкалы.

Цена деления вольтметра $\frac{5}{200} = 0{,}025$ *в*; цена деления амперметра $\frac{10}{200} = 0{,}05$ *а*.



Сопротивление обмотки $R = \frac{120 \cdot 0{,}025}{100 \cdot 0{,}05} = 0{,}6$ *ома*.

Сопротивление обмотки должно быть приведено к сопротивлению при температуре 75° по следующей формуле:

$$R_{75} = R[1 + \alpha(75 - t)] \text{ ом},$$

где $R$ — холодное сопротивление обмотки в *ом*;

$t$ — температура, при которой производилось измерение;

$\alpha$ — коэффициент для меди, равный 0,004.

Если в приведенном примере измерение проводилось при 15°, то

$$R_{75} = 0{,}6\,[1 + 0{,}004\,(75 - 15)] = 0{,}74 \text{ ома}.$$

Метод падения напряжения может быть использован для определения температуры нагрева обмоток при нагрузке. Для этого надо измерить сопротивления обмотки в холодном состоянии и после работы машины.

**Пример 3.** Сопротивление обмотки при 15° было 5 *ом*, а после работы машины поднялось до 6 *ом*.

Следовательно, на каждый *ом* холодного сопротивления оно увеличилось на $\frac{6-5}{5} = 0{,}2$ *ома*. А на каждый градус сопротивление увеличивается на 0,004 *ома*. Следовательно, увеличение температуры обмотки за время работы машины произошло на $\frac{0{,}2}{0{,}004} = 50°$. Действительная температура обмотки с учетом температуры окружающего воздуха будет $50 + 15 = 65°$.

*Опыт холостого хода* производится при вращении двигателя, включенного на сеть с номинальным напряжением и частотой в течение 30 мин. При холостом ходе двигателя проверяют правильность сборки, ток холостого хода, число оборотов, температуру подшипников, осевую игру ротора, работу щеточного аппарата, посторонние шумы в двигателе, отсутствие задевания вентилятора за неподвижные части. Амперметры включают в каждый линейный провод. Ток холостого хода определяют как среднеарифметическое от показаний трех амперметров:

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_1 + I_2 + I_3) \; а.$$

Показания отдельных амперметров не должны отличаться более чем на 5%. Ток холостого хода должен быть в пределах значений, получаемых по кривым (рис. 176). Если ток холостого хода превышает эти значения, то надо проверить правильность числа витков обмотки статора, зазор между статором и ротором, схему соединений обмотки статора, смещение ротора относительно статора в осевом направлении, нагрев подшипников.

*Испытание под нагрузкой* в условиях ремонтных мастерских производят методом торможения. Шкив двигателя зажимают между двумя деревянными колодками. К одной из колодок пристроен рычаг длиной $l$, конец которого опирается на платформу

десятичных весов. Сначала пускают двигатель вхолостую, а затем, подтягивая стяжные болты колодок, создают ему нагрузку. Вращающий момент двигателя можно определить по формуле

$$M = 97\,500 \frac{P}{n} \text{ кгсм},$$

где $P$ — номинальная мощность двигателя в *квт;*

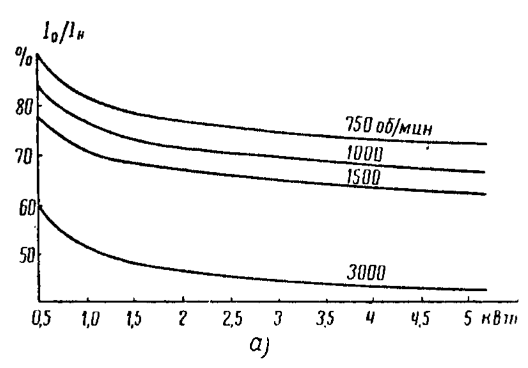
$n$ — число оборотов в мин.

Этот момент должен быть уравновешен моментом, приложенным к шкиву двигателя, $M = g \cdot l$. Отсюда можно найти величину показания весов $g$ при номинальной нагрузке двигателя.

**Пример 4.** Двигатель имеет мощность $P = 3$ *квт* при $n = 970$ об/мин. Вращающий момент двигателя $M = 97500 \frac{3}{970} = 300$ *кгсм.*

Если длина рычага $l = 100$ *см,* то показания весов $g = \frac{300}{100} = 3$ *кг.*

При работе двигателя колодки будут нагреваться, поэтому их надо периодически поливать водой.



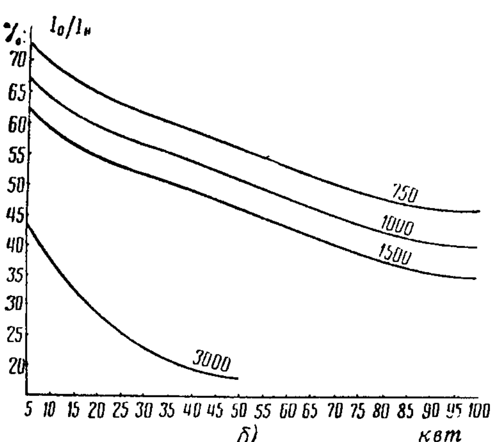




Рис. 176. Графики значений тока холостого хода:

*а* — для малых машин, *б* — для больших машин

*Для машин постоянного тока,* кроме всей программы испытаний асинхронных двигателей, *добавляется проверка искрения на коллекторе.* Искрение щеток на коллекторе является наиболее часто встречающейся неисправностью машин постоянного тока. Поэтому при осмотрах машин необходимо обращать внимание на работу щеток. Сильное искрение под щетками вызывает повреждение поверхности коллектора и повышенный износ щеток. Однако полное отсутствие искрения наблюдается в машинах постоянного тока очень редко. При длительной работе машины считается допустимым, когда наблюдается слабое искрение приблизительно у половины числа всех щеток. Если



наблюд ся искрение под большей частью щетки у большинства или у всех щеток, то при работе машины на коллекторе остаются следы почернения, а на щетках следы нагара. Такое искрение допускается только при кратковременной перегрузке, толчках или изменении направления вращения (реверсировании).

При определении искрения надо всегда смотреть на щетку по ходу вращения коллектора, так как обычно искрение более заметно под задним краем щетки.

Причинами искрения могут быть: неправильная установка траверсы щеткодержателей, неравномерное расстояние между

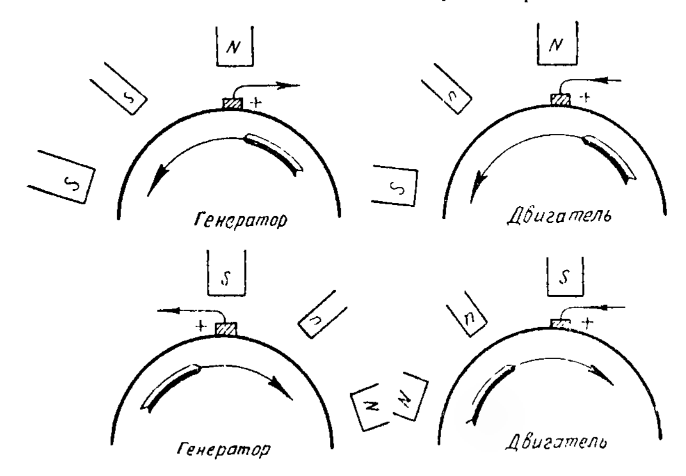



Рис. 177. Чередование полярности полюсов

щетками отдельных пальцев по окружности коллектора, слишком слабое нажатие щеток на коллектор, несоответствующий сорт щеток, дрожание пальцев щеткодержателей или всей машины.

Кроме того, сильное искрение на коллекторе может наблюдаться при неисправностях обмотки якоря или катушек возбуждения. Например, обрыв одного провода обмотки якоря вызывает сильное искрение на коллекторной пластине, с которой он соединен. Замыкание витков в полюсных катушках также вызывает искрение на коллекторе. Если дополнительные полюса имеют неправильную полярность, то они не способствуют уменьшению искрения, а наоборот, вызывают усиленное искрение при работе машины под нагрузкой. Неправильная полярность главных полюсов также является причиной неисправности машины. Генератор при запуске не самовозбудится, а двигатель будет вращаться в другую сторону. Для проверки правильности включения главных и дополнительных полюсов служат схемы, приведенные на рис. 177; на нем дается вид на машину со стороны коллектора. Четыре схемы охватывают все возможные случаи для генератора и двигателя при вращении по часовой или против часовой стрелки. За основу берется щетка со знаком +. У генератора через

щетки со знаком + ток направлен во внешнюю цепь, а у двигателей из сети в якорь. При вращении против часовой стрелки над щеткой со знаком + как у генераторов, так и у двигателей расположен северный полюс. При вращении по часовой стрелке над щеткой со знаком + расположен южный полюс. Чередование полюсов надо проследить по направлению вращения якоря, начиная от главного полюса. У генераторов за главным полюсом следует дополнительный полюс другой полярности, а у двигателя за главным полюсом следует дополнительный полюс той же полярности.

Этими схемами следует руководствоваться при каждой сборке машин постоянного тока. Следует заметить, что приведенные схемы зависят также от рода обмотки якоря. Схемы на рис. 177 составлены исходя из того, что якорь имеет правую петлевую или левую волновую обмотку, которые наиболее распространены. Если у машины будет правая волновая обмотка или левая петлевая, то на этих схемах надо изменить знак щетки + на —.

В машинах постоянного тока может наблюдаться ненормальный нагрев коллектора, который проверяют после остановки машины, прикладывая к его поверхности термометр, его головка обернута станиолью. Причинами ненормального нагрева может быть слишком большая плотность тока под щетками или большое давление щеток на коллектор. Плотность тока можно проверить, деля общий ток якоря на общую площадь щеток одной полярности. Давление щеток проверяют пружинными весами, зацепив ими за рычаг щеткодержателя и поднимая щетку над поверхностью коллектора.

## РАСЧЕТЫ ОБМОТОК ПРИ РЕМОНТЕ

В процессе выполнения ремонтных работ встречаются случаи, когда приходится изменять технические данные ремонтируемой машины или восстанавливать их при отсутствии старой обмотки и паспорта. Всякое изменение технических данных связано с изменением обмоток. Обмоточные данные машины получаются на основе расчетов, которые связывают мощность и скорость вращения машины с ее размерами. Полный расчет электрической машины является очень громоздким для практического пользования в цеховых условиях. Однако при изменении каких-либо технических данных машины можно, основываясь на размерах имеющейся машины, обойтись простейшими расчетами для получения новых данных.

Здесь будут рассмотрены расчеты, связанные с переделкой на другое напряжение и на другую скорость вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и машин постоянного тока, а также определение обмоточных данных двигателей, поступивших в ремонт без паспорта и остатков старой обмотки.

*Переделка на другое напряжение асинхронного двигателя* встречается часто при изменении системы электроснабжения предприятия с использованием старых двигателей.



Асинхронные двигатели выпускаются на одно и на два напряжения. Так, например, на табличках двигателей можно прочесть: 500 *в*, 220/380 *в*, 127/220 *в*. Двигатели на двойное напряжение всегда имеют шесть выводов от обмотки статора. Поэтому обмотку можно соединить в звезду при высшем напряжении сети и в треугольник при низшем напряжении сети, питающей двигатель. При соединении в звезду напряжение на фазу обмотки двигателя в 1,73 раза меньше линейного напряжения, а при соединении в треугольник напряжение на фазу двигателя равно линейному. Таким образом, двигатели, выпускаемые с шестью выводами, могут работать от сетей с разными напряжениями, причем на фазу двигателя будет приходиться одно и то же напряжение.

При всяких расчетах асинхронных двигателей надо пользоваться фазным напряжением, которое зависит от линейного и схемы соединений фаз обмотки двигателя. Например, у двигателя, выпущенного заводом на 127/220 *в*, при линейном напряжении 127 *в* и соединении фаз обмотки в треугольник фазное напряжение будет 127 *в*; при линейном напряжении 220 *в* и соединении фаз в звезду фазное напряжение также будет 220 : 1,73 = 127 *в*. У двигателя на 500 *в* при соединении обмотки в звезду фазное напряжение будет 500 : 1,73 = 289 *в*. Токи, потребляемые двигателями, при питании от сетей с разными линейными напряжениями изменяются обратно пропорционально напряжениям. Так, например, если двигатель при питании от сети с напряжением 220 *в* потреблял ток 14 *а*, то при питании от сети 380 *в* с соответствующим переключением обмотки на звезду ток двигателя снизится в 1,73 раза и будет 14 : 1,73 = 8,1 *а*.

При изменении обмоточных данных двигателя, связанных с переделкой на другое напряжение, *число витков обмотки изменяется прямо пропорционально фазному напряжению, а сечение провода изменяется обратно пропорционально фазному напряжению.*

**Пример 1.** В ремонт поступил двигатель единой серии типа А 52/4 Обозначение типа двигателя означает: двигатель серии А, пятого габарита (диаметра), второй длины, четырехполюсный.

Обмотка двигателя требует замены по причине плохой изоляции. При ремонте требуется переделать двигатель на питание от сети напряжением 500 *в* при соединении обмотки двигателя в звезду. Технические данные двигателя: мощность 7 *квт*, скорость вращения 1440 об/мин, напряжение 220/380 *в*, ток 24,2/14 *а*.

Обмоточные данные: провод марки ПЭЛБО, диаметр голого провода 1,4 *мм*, число проводов в пазу 22 эффективных; катушки намотаны в два параллельных провода; общее число проводов в пазу $22 \times 2 = 44$; обмотка однослойная; площадь паза 206 *мм*$^2$; число пазов статора 36.

Фазное напряжение двигателя до перемотки было 220 *в* при обеих схемах соединения обмотки. После перемотки фазное напряжение будет 500 : 1,73 = 289 *в*. Следовательно, число витков фазы должно увеличиться в

отношении $\frac{289}{220}=1,31$ раза. Но в обмоточных данных не указано число витков фазы. Его можно просто определить. Число пазов статора 36. В каждом пазу 22 эффективных провода, а всего в пазах статора $22\times36=792$ эффективных провода. Витков будет в два раза меньше, так как виток образуется из двух проводов, а на фазу придется одна треть всех витков статора. Поэтому число витков на фазу будет $w=\frac{792}{2\times3}=132$ витка на фазу. После перемотки должно быть $132\times1,31=174$ витка на фазу. В такой же пропорции должно возрасти число эффективных проводов в пазу, т. е. $22\times1,31=29$ проводов, а всего в пазу будет 58 проводов.

Теперь определим размер нового провода. По табл. 1 находим сечение провода диаметром 1,4 *мм*; оно равно 1,539 *мм*². Сечение провода должно уменьшиться в 1,31 раза, т. е. должно быть 1,18 *мм*². По табл. 1 находим ближайший диаметр провода 1,2 *мм*.

Чтобы заказать новый провод, измерим длину витка старой обмотки; она составляет 680 *мм*, а вся длина обмотки будет $0,68\times2\times3\times174=710$ *м*. По табл. 1 находим, что вес 1 *км* провода составляет 10 *кг*, следовательно, вся обмотка будет весить $0,71\times10=7,1$ *кг*. Для учета веса изоляции вводят коэффициент 1,02 и заказывают 7,25 *кг* провода. Из табл. 1 узнаем, что 1 *км* провода имеет сопротивление 15,22 *ома*.

Сопротивление всего провода было бы $0,71\times15,22=10,8$ *ома*. Но обмотка выполнена в два параллельных провода, поэтому длина ее стала в два раза меньше, а сечение в два раза больше, т. е. сопротивление всей обмотки уменьшилось в четыре раза. А сопротивление одной фазы будет еще в три раза меньше. Следовательно, сопротивление фазы обмотки будет $\frac{10,8}{4\times3}=0,9$ *ома*. Эти данные нужны для проверки обмотанного статора.

При каждом пересчете обмотки проверяют коэффициент заполнения паза. Из обмоточных данных известно, что площадь паза в листе статора составляет 206 *мм*². Для определения площади паза за вычетом пазовой изоляции и клина надо разделить эту площадь на 1,3. Получим площадь паза для укладки проводов $F_n=206:1,3=159$ *мм*². Коэффициент заполнения паза определяется по формуле

$$к_з=\frac{N\cdot d_{из}^2}{F_n}.$$

Диаметр провода марки ПЭЛБО с изоляцией по табл. 3 будет $d_{из}=1,2+0,21=1,41$. Подсчитаем коэффициент заполнения паза $к_з=\frac{58\cdot1,41^2}{159}=0,72$. Если коэффициент заполнения паза не превышает 0,75, то обмотка выполнима.

Вот и весь расчет новой обмотки. Он сделан так подробно потому, что на нем показан ход расчета и даны все объяснения. Практический расчет может быть значительно короче.

На этом и основан принцип переделки двигателей на другое напряжение.

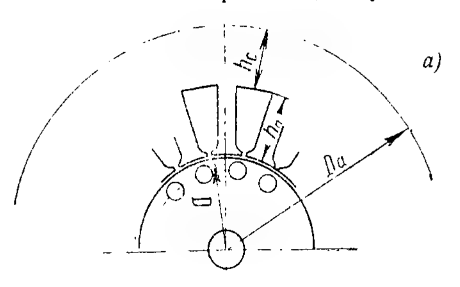
*Переделка асинхронного двигателя на другую скорость вращения* также часто производится в целях повышения производительности механизмов, приводимых двигателем. Изменение скорости вращения, как видно из табл. 4, достигается изменением числа полюсов. Это в свою очередь ведет к изменению числа пазов на полюс и фазу, шага обмотки по пазам и числа витков на фазу. С изменением скорости вращения изменяется и мощность



двигателя, а следовательно, и сечение провода обмотки. Рассмотрим переделку двигателя на другую скорость вращения на примере.

**Пример 2.** Требуется перемотать двигатель единой серии типа А 61/6, имеющий мощность 7 *квт* при 970 об/мин и напряжение 220/380 *в*, на другую скорость, в полтора раза большую. Обмоточные данные двигателя: провод ПЭЛБО диаметром 1,2 *мм*. Число витков в фазе 216, катушки намотаны в два параллельных провода, обмотка двухслойная, шаг 1—6, число пазов $z=36$, площадь паза 296 *мм*².

Размеры двигателя: наружный диаметр статора $D_a=327$ *мм*, внутренний диаметр статора $D=200$ *мм*, длина статора $l=75$ *мм*, глубина паза статора $h_n=29$ *мм*.



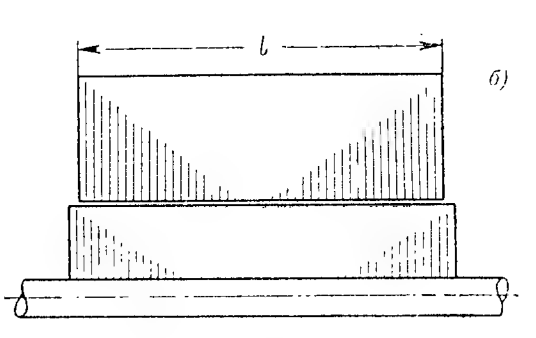




Рис. 178. Размеры сердечника асинхронного двигателя

Магнитный поток двигателя пронизывает площадь полюсного деления, которая выражается формулой

$$Q=\frac{3,14\times D\times l}{2p}см^2.$$

При переходе на повышенную скорость вращения придется изменить число полюсов с 6 на 4. Как видно из формулы, при этом площадь полюсного деления увеличится в отношении 6 : 4, т. е. в полтора раза, так как размеры двигателя не меняются. Число витков на фазу обратно пропорционально площади полюсного деления. Следовательно, число витков на фазу при измененной скорости следовало бы взять уменьшенное в полтора раза, т. е. $216:1,5=144$ витка на фазу.

Но при этом вырастет индукция в сердечнике статора, которая подсчитывается по формуле (рис. 178)

$$B=\frac{10^8}{2\times h_c\times l\times w},$$

где $h_c$— высота спинки статора. Ее можно определить по формуле

$$h_c=\frac{D_a-D}{2}-h_n.$$

Индукция должна быть при пересчете не выше 12 000 гауссов.

Для данного двигателя $h_c=\frac{327-200}{2}-29=34,5$ *мм* $=3,45$ *см*, а индукция в сердечнике статора $B=\frac{10^8}{2\cdot3,45\cdot7,5\cdot144}=13\,500$ гауссов. Как видим, индукция в сердечнике статора получилась слишком велика. Чтобы ее снизить

до 11 500 гауссов, увеличим число витков на фазу до 168. При переделке двигателя на бо́льшую скорость вращения всегда повышается индукция в сердечнике. Поэтому при большом увеличении скорости приходится увеличивать спинку статора. Число эффективных проводов в пазу определяется по формуле $N_э = \frac{6 \cdot w}{z} = \frac{6 \cdot 168}{36} = 28$, т. е. число целое и четное, что необходимо для выполнения двухслойной обмотки. При увеличении скорости вращения мощность также увеличится почти во столько же раз. При неизменном напряжении его повлечет к увеличению тока двигателя. Поэтому сечение провода надо увеличить. Провод диаметром 1,2 *мм* имеет сечение 1,131 *мм*². Учитывая, что при увеличении скорости улучшатся условия охлаждения, возьмем сечение 1,539 (по табл. 1), которому соответствует диаметр провода 1,4 *мм*.

Теперь можно составить обмоточные данные для перемотанного двигателя. Число пазов на полюс и фазу $q = \frac{36}{3 \times 4} = 3$, следовательно, для обмотки статора придется намотать 12 катушечных групп по 3 катушки в группе. Диаметральный шаг обмотки $y_z = \frac{36}{4}$ 9; возьмем укороченный шаг на два паза: $y_z = 7$.

Проверим коэффициент заполнения паза. Площадь паза для заполнения проводами $F_n = \frac{296}{1,3} = 228$ *мм*². Диаметр изолированного провода марки ПЭЛБО по табл. 3 $d_{из} = 1,4 + 0,21 = 1,61$ *мм*. Коэффициент заполнения паза $к_з = \frac{28 \cdot 2 \cdot 1,61^2}{228} = 0,64$.

Измерим длину витка обмотки $l = 0,56$ *м*. Общая длина провода $L = 0,56 \times 2 \times 3 \times 168 = 565$ *м*. По табл. 1 вес 1 *км* провода составляет 13,69 *кг*, следовательно, вес голого провода $13,69 \times 0,565 = 7,6$ *кг*, а с учетом изоляции $7,6 \times 1,02 = 7,8$ *кг*.

По табл. 1 сопротивление 1 *км* провода 11,18 *ом*.

Сопротивление фазы обмотки $\frac{0,565 \times 11,18}{4 \times 3} = 0,525$ *ома*.

При пересчете двигателей с короткозамкнутым ротором на другие скорости вращения можно получить такое соотношение между числами пазов статора $z_1$ и ротора $z_2$, при которых двигатель будет плохо работать. Во избежание этого нельзя допускать следующих соотношений:

| | | |
|---|---|---|
| $z_2 = z_1$ | $z_2 = 6\ pк \pm 2\ p$ | $z_2 = 6\ pк \pm 1$ |
| $z_2 = 0,5\ z_1$ | $z_2 = z_1 \pm 2\ p$ | $z_2 = 6\ pк \pm p \pm 1$ |
| $z_2 = 2\ z_1$ | $z_2 = 0,5\ z_1 \pm p$ | $z_2 = 6\ pк \pm 2\ p \pm 1$ |
| $z_2 = 6\ p \cdot к$ | $z_2 = z_1 \pm p$ | |

*к* — любое целое число.

**Пример 3**[1]. Определить обмоточные данные двигателя старого типа, поступившего в цех без обмотки и таблички мощности. Обмотку статора следует выполнить на напряжение 220/380 *в* с числом полюсов $2p = 6$.

При обмере статора получены следующие данные:

| | |
|---|---|
| Внутренний диаметр статора | 400 *мм* |
| Длина статора . . . . . | 240 *мм* |
| Высота спинки . . . . . | 74,5 *мм* |
| Площадь паза . . . . . | 700 *мм*² |
| Число пазов . . . . . . | 54 |

Площадь полюсного деления $Q = \frac{3,14 \times 40 \times 24}{6} = 500$ *см*².

[1] Журн. «Энергетик» № 12, 1957 г.



Для деления числа витков на фазу воспользуемся графиком (рис. 179). На горизонтали отложены площади полюсных делений, а на вертикали числа витков на фазу при фазном напряжении 220 *в*. При других фазных напряжениях число витков изменяется пропорционально напряжению. График содержит три наклонных линии, из которых верхняя *1* относится к двигателям старых типов, нижняя *3* к двигателям новых серий, а средняя *2* к двигателям неизвестного выпуска.

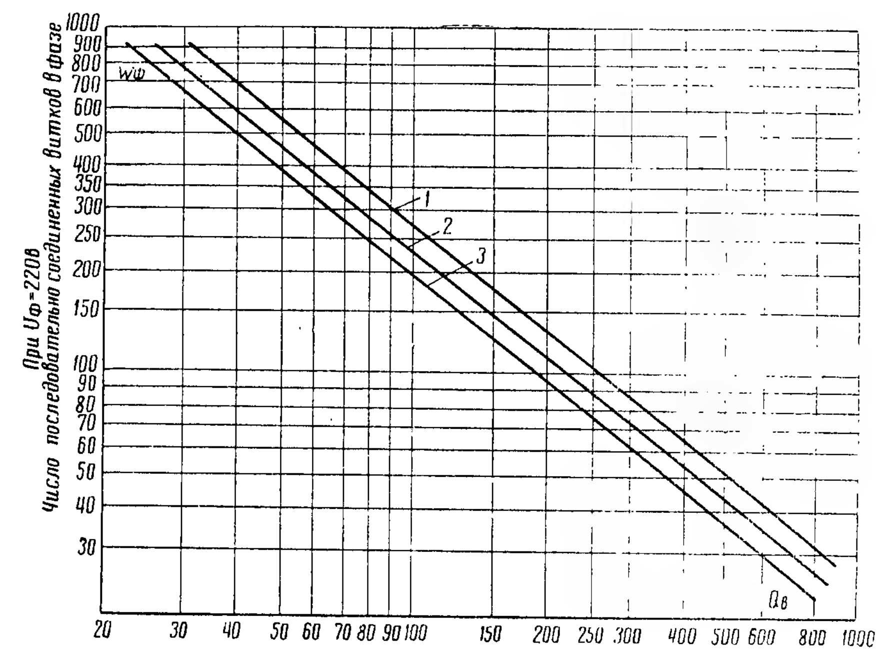



Рис. 179. Графики для определения числа витков в фазе

Пользуясь наклонной линией *1*, определяем число витков в фазе 50 и проверяем магнитную индукцию в сердечнике статора

$$B = \frac{10^8}{2 \times 7,45 \times 24 \times 50} = 5600 \text{ гауссов}.$$

Число эффективных проводов в пазу

$$N_э = \frac{6 \times 50}{54} = 5,55.$$

Для выполнения двухслойной обмотки принимаем $N_э = 6$. Определяем сечение паза, занятого проводами $\frac{700}{1,3} = 540$ *мм*². Примем коэффициент заполнения $к_з = 0,7$ и диаметр провода 2,26 *мм*. По табл. 3 находим толщину изоляции для провода марки ПБД $d_{из} = 2,26 + 0,27 = 2,53$.

Определяем общее число проводов в пазу $N = \frac{0,7 \cdot 540}{2,53^2} = 60$.

Таким образом, каждый эффективный провод состоит из 10 параллельных проводов. Сечение эффективного провода по табл. 1

$$4,01 \times 10 = 40,1 \text{ мм}^2.$$

Приняв плотность тока в обмотке стат[illegible] 3,5 $a/мм^2$, определим ток статора $I = 40{,}1 \times 3{,}5 = 140$ *а.*

По формуле мощности трехфазного тока определим кажущуюся мощность двигателя

$$P' = \frac{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 140}{1000} = 92 \text{ ква.}$$

По каталогу находим для аналогичных двигателей к. п. д. = 91%, $\cos \varphi = 0{,}88$.

Полезная мощность двигателя $P = 92 \times 0{,}91 \times 0{,}88 = 74$ *квт.*

*Переделка машин постоянного тока* на другие технические данные производится значительно реже. Это объясняется, с одной стороны, ограниченным применением машин постоянного тока, а с другой стороны, более сложными условиями их работы. Часто машина после перемотки перестает надежно работать вследствие недопустимого нагрева коллектора или сильного искрения под щетками. Потребность в переделке машин постоянного тока значительно меньше, так как эти машины и при старых обмотках могут работать в различных режимах за счет регулировки.

Рассмотрим несколько примеров переделки машин постоянного тока.

Переделка генератора на меньшее напряжение не требует изменения обмоток. Для этого достаточно уменьшить в соответствующее число раз скорость вращения генератора и он будет давать пониженное напряжение. Обмотки возбуждения при этом надо соединить в несколько параллельных ветвей в зависимости от требуемого снижения напряжения. Например, четырехполюсный генератор напряжением 460 *в* можно превратить в генератор с напряжением 230 *в*, если вращать его якорь с половинной скоростью, а катушки полюсов, которые были соединены последовательно, переключить на две параллельные группы. При этом ток якоря сохранится, а мощность машины уменьшится вдвое.

Для получения удвоенного напряжения достаточно два генератора соединить между собой последовательно.

Если же необходимо при измененном напряжении получать от машины прежнюю мощность, то надо перемотать обмотку якоря, а иногда и обмотку возбуждения. Так, например, для снижения напряжения в два раза надо уменьшить число витков в обмотке якоря. Для этого надо его перемотать тем же проводом, сложенным двое. Тогда ток якоря увеличится вдвое и машина при пониженном напряжении будет отдавать ту же мощность. Катушки полюсов при этом пересоединить в две параллельные группы.

Переделка двигателей на пониженное напряжение выполняется так же, как и переделка генераторов.

Однако при такой переделке могут встретиться затруднения на коллекторе. С увеличением тока якоря возрастет плотность тока под щетками. Если нет запасной длины коллектора, чтобы уставить еще хотя бы по одной щетке на каждом пальце, то приходится увеличивать толщину щетки. При этом увеличивается число пластин коллектора, перекрываемых щеткой, и может недопустимо усилиться искрение. А коллектор будет сильно нагреваться, так как при увеличении тока якоря потери на коллекторе увеличились, а охлаждаемая поверхность осталась прежней.



Для *увеличения напряжения* надо соответственно увеличить число последовательно соединенных проводов в обмотке якоря, уменьшив их сечение. Но число коллекторных пластин осталось прежним, следовательно, надо увеличить число витков в секциях обмотки. При этом возрастет напряжение между соседними пластинами коллектора и ухудшится коммутация. Это опять может повести к искрению под щетками. Полюсные катушки надо намотать заново из более тонкого провода.

Из приведенных примеров видно, что переделка машин постоянного тока связана со многими трудностями и не всегда кончается успешно. Обычно она еще удается на машинах старого выпуска с малыми нагрузками и с большими запасами места в пазах и на коллекторе.

*Изменение скорости вращения двигателей* постоянного тока можно осуществить только за счет изменения числа последовательно соединенных проводов в обмотке якоря. Число проводов обратно пропорционально скорости вращения. Если напряжение двигателя остается при этом неизменным, то катушки возбуждения могут остаться без изменения. Изменение числа проводов в обмотке якоря связано с теми же трудностями, что и изменение напряжения как в сторону повышения, так и в сторону понижения. Эти трудности возрастают с увеличением мощности и напряжения машин. Поэтому крупные машины постоянного тока без подробных поверочных расчетов переделывать на другие технические условия не рекомендуется.

*Глава XXI*

# ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

На наших социалистических предприятиях проводятся специальные мероприятия по технике безопасности для предотвращения несчастных случаев на производстве. Ни один рабочий не допускается к работе, прежде чем он не изучит правил техники безопасности. Меры по технике безопасности для различных участков предприятия имеют свои особенности и предусматриваются специальными инструкциями. Однако не все особенности условий

работы могут быть предусмотрены инструкциями. Поэтому перед началом каждой новой работы рабочий должен внимательно выслушать дополнительные указания мастера.

Основным видом опасности на территории предприятия (вне цеха) является возможность попадания под транспорт, в колодцы, траншеи и т. п. В качестве оградительных мер используются шлагбаумы и специальные посты, а также применяются предупредительные надписи, звуковая и световая сигнализация, предупреждающая о приближении транспорта. Ночью дворы должны быть достаточно освещены на все время, когда происходит работа на предприятии.

Однако наличие этих предупредительных мер не исключает того, что при передвижении по территории предприятия нужно быть внимательным и не нарушать установленных правил.

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ОБМОТОЧНЫХ ЦЕХАХ

Обмотчики работают в обмоточном цехе, состоящем из различных участков, на которых производятся многообразные операции, такие, как намотка катушек, гибка стержней, укладка их в пазы, пропитка, паяние обмоток и электрические испытания. При выполнении их особенно важно соблюдать правила техники безопасности в обмоточных цехах.

К самостоятельной работе на намоточных и бандажировочных станках могут допускаться только обученные рабочие. Вращающиеся части (шестерни, шкивы) должны быть ограждены специальными щитами, кожухами или решетками. Женщины-работницы при работе на станках должны быть с повязанной головой, так как волосы могут попасть во вращающиеся части станка, что приводит к тяжелым увечьям.

При намотке катушек и бандажей надо остерегаться, чтобы пальцы не попали под наматываемую проволоку. При намотке катушек из тонкой проволоки на быстроходных станках необходимо пользоваться защитным стеклом или предохранительными очками, так как при обрыве провода конец его может хлестнуть по глазам. Для предохранения от этого запрещается отводить защитное стекло при работе станка. При бандажировке надо прочно установить якорь в центрах станка и надежно запереть заднюю бабку станка, так как иначе сильное натяжение бандажной проволоки может вырвать якорь из центров, и он упадет на ноги.

Следует остерегаться захватывания частей одежды вращающимися деталями станка, особенно поводковым хомутиком или планшайбой. Рукава следует заматывать лентой, чтобы они плотно охватывали руку и не могли быть захвачены вращающимися деталями.



При укладке обмоток в пазы надо правильно держать рабочие инструменты и быть внимательным, чтобы не ударить молотком по пальцам. При резке ножами изоляционных материалов надо всегда производить резку от себя, чтобы не поранить руку. При работе на рычажных ножницах, особенно при резке мелких деталей, надо обязательно пользоваться прижимной планкой с педальным приводом, а не держать материал рукой, так как при этом легко можно отрубить пальцы. Роликовые опоры, на которых устанавливается якорь при обмотке, должны легко вращаться, и оси их должны смазываться, так как при заедании ролика обмотчик может во время поворачивания якоря выкатить его из роликовой опоры и он упадет на ноги.

Особая осторожность должна проявляться при паянии. Следует остерегаться ожога рук горячим паяльником. Помещение, в котором производится паяние, должно быть снабжено устройствами, защищающими рабочих от вредного действия паров и газов, выделяющихся при паянии. Свинец и его соединения содержат сильные яды, поэтому при пользовании припоями надо соблюдать осторожность. В случае применения бензиновых ламп они должны быть в исправном состоянии. Против случайных вспышек бензина должны быть приняты все меры предосторожности. В таких местах поблизости обязательно должны находиться огнетушители и ящики с песком. Если паяние производится электродуговым паяльником, надо обязательно надевать сварочные очки с цветными стеклами. Электрическая дуга даже при кратковременном действии на глаза, вызывает сильный воспалительный процесс, который начинает чувствоваться не сразу, а через несколько часов.

Выполнение ряда важных требований необходимо при работе в пропиточных участках обмоточного цеха. Эти требования касаются как охраны здоровья работающих, так и противопожарной безопасности. Все операции по смешению и растворению лаков должны выполняться в точном соответствии с инструкциями. Работники пропиточной мастерской должны выполнять все правила санитарной гигиены при обращении с едкими растворителями. От частого употребления бензина для мытья рук кожа обезжиривается и становится очень восприимчивой к различным кожным заболеваниям. Поэтому мыть руки в бензине не следует. Для мытья рук с мылом должны быть умывальники с горячей водой.

Пропиточные мастерские являются наиболее опасными в отношении пожара, так как в них имеются значительные количества легковоспламеняющихся жидкостей. Всякий открытый огонь, зажженная спичка и даже небольшая искра могут вызвать воспламенение. Поэтому курение в пропиточных мастерских категорически воспрещено. Электрическая проводка в помещении пропиточных должна удовлетворять специальным правилам. Выключатели должны быть расположены снаружи, так как при от-

ключении они дают искру. Пропиточные участки должны быть обеспечены средствами для тушения пожара. Для уменьшения концентрации в воздухе паров растворителей, повышающих пожарную опасность и вредно действующих на организм людей, в пропиточных должна быть усиленная вентиляция.

Все электрические испытания обмоток должны производиться на специальном огражденном месте, называемом стендом. Допуск на стенд лиц, не имеющих отношения к испытаниям, запрещен. Стенд должен быть снабжен сигнальными лампами, зажигающимися при включении высокого напряжения, и специальными предостерегающими надписями: «осторожно, высокое напряжение».

Обмоточные участки должны быть оборудованы усиленным освещением: стационарным и переносным. Переносные лампы должны быть снабжены защитными решетками.

*Глава XXII*

# ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И РАБОЧЕГО МЕСТА

## РАБОЧЕЕ МЕСТО

Рабочим местом называется участок цеха или мастерской, отведенный рабочему со всеми необходимыми для работы инструментами и приспособлениями. В зависимости от характера выполняемой работы обмотчик может работать или на стационарном рабочем месте в цехе, или на передвижном рабочем месте. К работам, выполняемым на стационарном рабочем месте, относятся все операции заготовки и укладки в пазы обмоток. К работам, выполняемым на передвижном рабочем месте, относятся операции по ремонту обмоток крупных электрических машин, производимые на месте их установки. К таким же работам относится укладка обмотки в месте стыков статора крупных электрических машин, выполняемая на месте их монтажа.

Производительность труда и качество выполнения работы зависят от правильной организации рабочего места. Обмотчик должен быть снабжен всеми необходимыми инструментами и приспособлениями для выполнения работ, а также для определения неисправностей в обмотках электрических машин.

Производительность труда, качество продукции и стоимость ее изготовления в значительной степени зависят от рационального использования рабочего времени. Производительное рабочее время разделяется на две группы: основное время, затрачиваемое непосредственно на изменение форм, положения и состояния обрабатываемого изделия, и вспомогательное время, которое расходуется на выполнение приемов, непосредственно не осуществляющих изменение изделия, неизбежных для его выполнения.



Например, если обмотчик производит паяние простым паяльником, то значительная часть времени затрачивается им на переноску паяльника к месту работы и обратно к нагревательной печи. При работе электрическим паяльником, которым можно работать непрерывно, доля вспомогательного времени снижается, а основного растет, благодаря чему увеличивается производительность труда. Работа электрическим паяльником ведет к улучшению качества продукции, так как температура нагрева простого паяльника по мере его остывания изменяется. При паянии деталей, обладающих большой теплоемкостью, электрический паяльник с нагревательными спиралями не обеспечивает поддержание постоянной температуры и поэтому применяют электродуговой паяльник.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Под организацией труда на рабочем месте подразумеваются следующие мероприятия: подготовка рабочего места к работе, осмотр, проверка, регулировка и смазка оборудования, ознакомление с заданием, проверка материалов и заготовок, подготовка необходимых для работы инструментов и приспособлений, приемка рабочего места перед работой и сдача его после работы. Кроме того, в задачу организации труда входит применение рационального технологического процесса и приемов работы, механизация трудовых процессов, устранение непроизводительных затрат времени, отделение вспомогательных операций от основных и т. д.

Рационализация технологического процесса и приемов работы производится путем отделения подготовительных работ от основных, за счет чего сокращаются непроизводительные затраты времени и резко повышается производительность труда. Заготовка разного рода вспомогательных материалов должна производиться централизованно в цеховых кладовых или на специальных заготовительных участках, выдача их на рабочее место производится по установленным нормам расхода на единицу изделия.

Раньше в обязанности обмотчика входило получение листового электрокартона, определение формы изоляционных прокладок и резка их на ножницах. В настоящее время все эти операции производятся вспомогательными рабочими-резчиками, и прокладки поступают к обмотчику в готовом виде.

Рационализация технологического процесса заключается в том, что передовики производства отрабатывают отдельные операции, находят наилучшие способы их выполнения и тем значительно повышают качество продукции и производительность труда. При укладке одной катушки в пазы статора обмотчик сред-

ней квалификации пользуется молотком около 12 раз для уплотнения витков катушки в пазу, закрывания пазовой гильзы, забивания клина и отгибания лобовых частей катушки.

Только на выполнение простейшего рабочего приема — «взять молоток и переместить к месту применения» передовики-обмотчицы Харьковского электромеханического завода Н. Валова и З. Запорожская экономят в смену 5,4 мин. Укладку одной катушки в паз обмотчица Валова выполняет за 2,24 мин., в то время как работница средней квалификации — за 6 мин.

Производительность труда в значительной степени зависит от правильной организации рабочего места. Инструменты и материалы следует располагать по такому принципу: что берут правой рукой, должно лежать справа (молоток, деревянная колодка, стержень и т. д.), а что берут левой рукой, должно лежать слева (оправка), что берут обеими руками, следует располагать с обеих сторон, то, чем пользуются чаще, должно быть расположено ближе, а чем пользуются реже — дальше. Катушки следует разложить на специальном стеллаже по порядку их укладки, чтобы во время обмотки статора не отвлекалось внимание на подбор нужной катушки. В процессе обмотки статоров крупных электродвигателей появляются операции, требующие значительных физических усилий для поворота статора. Рационализаторами предложен и внедрен ряд приспособлений, благодаря которым требуется меньшее усилие для поворотов статора вокруг горизонтальной и вертикальной осей.

## ОБОРУДОВАНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

Оснащение рабочего места в значительной степени зависит от характера производства. Так, в ремонтных мастерских, где производится ремонт и перемотка якорей, статоров, роторов и катушек возбуждения, обмотчику приходится выполнять работу по перемотке отдельных изделий, причем в его обязанности входят многообразные операции, начиная от обнаружения места повреждения и до сдачи отремонтированной детали. Наоборот, в условиях серийного производства на заводе, где из месяца в месяц производят одни и те же машины, работы по выполнению различных обмоток разделены на отдельные операции и производятся в различных мастерских. Организационно сама мастерская разбивается на отдельные участки: на одних производится обмотка статоров, на других — стержневая обмотка ротора, на третьих — обмотка якорей и т. д. Это объясняется тем, что различные участки требуют рабочих различных квалификаций и наибольшая производительность труда достигается при специализации обмотчиков на определенных работах. Оснащение рабочих мест зависит от характера выполняемых работ.

Организация рабочего места в работах, связанных с изготовлением обмоток электрических машин, имеет очень важное значе-



ние. Требование чистоты рабочего места является совершенно необходимым условием для обеспечения высокого качества продукции. Пыль и грязь, попадающие на изоляционные материалы, резко снижают электрическую прочность изоляции; даже маленькая металлическая стружка, попавшая в обмотку, почти всегда вызывает пробой изоляции. Поддержание рабочего места в чистоте зависит не только от организации технологического процесса, но и от самих рабочих. Например, нельзя допускать, чтобы работа, связанная с опиливанием, производилась на том же рабочем месте, где лежат катушки обмоток и изоляционные материалы, так как в противном случае трудно избежать попадания опилок в изоляцию. Необходимо, чтобы недалеко от обмотчика находился шланг от сети сжатого воздуха, которым продувают сердечники якоря и статора перед закладыванием обмотки, а также верстаки перед началом работы и после ее окончания.

Обмотчики должны постоянно заботиться о том, чтобы их рабочие места всегда были в порядке, катушки лежали на специальных чистых столиках или стеллажах, изоляционные материалы в шкафчиках и отдельных коробках.

Обязанностью руководителя цеха является прививать эти навыки рабочим, особенно начинающим и ученикам, и если у обмотчика не выработалась привычка к чистоте и аккуратности, то его работу нельзя считать полноценной, даже если брак его продукции невелик.

Рационализация организации рабочего места в отношении хранения заготовок, выдачи и хранения различного рода основных и вспомогательных материалов резко сокращает их расходование, позволяет установить нормы расхода и учет, что в свою очередь ведет к снижению себестоимости продукции. В этом отношении производство обмоток электрических машин отличается от других отраслей машиностроительной промышленности тем, что оно требует много дорогих и дефицитных материалов, стоимость которых занимает большой удельный вес в общей себестоимости продукции.

Инструменты обмотчика могут быть разбиты на две группы: в первую группу входят инструменты, находящиеся постоянно в его распоряжении и хранящиеся в его инструментальном ящике,— ножницы, ножи, плоскогубцы, молотки, фибровые и деревянные клинья, подбойки, паяльники и т. п. Во вторую группу входят инструменты, которые обмотчик получает в раздаточной по мере надобности. Сюда относятся дрели, паяльные лампы, приспособления для забивания клиньев, специальные ножницы и т. п. Наконец, на рабочем месте обмотчика должны всегда находиться вспомогателные материалы, применяемые при работе: припои, флюсы, парафин, канифоль, клей и т. д. Для хранения инструментов в верстаке должны быть отдельные ящики.

Заготовка разного рода вспомогательных материалов должна производиться на заготовительных участках. Это в первую оче-

редь относится к изоляционным материа...м для изолировании обмоткодержателей, пазовым клиньям, прокладкам на дно паза, между слоями обмотки, между лобовыми частями и под бандажами. Благодаря этому у обмотчика экономится много времени, которое бесполезно уходило бы на резку электрокартона, разведение лака, флюса и т. п. Кроме того, достигается экономия этих материалов. Площадь цеха освобождается от обрезков изоляционных материалов, которые получались при резке электрокартона самими обмотчиками, и достигается более экономный раскрой листов, так как отходы от резки крупных листов используются на мелкие детали. Вместе с этим снижается потребность в оборудовании для резки листовых материалов (рычажные, ручные и дисковые ножницы), так как будучи сконцентрированы в одном месте они могут обслужить весь цех, в то время, как раньше такое оборудование надо было иметь на каждом участке. Вспомогательные материалы в виде заготовок комплектуются обычно на каждый якорь или статор и выдаются обмотчикам вместе с нарядом на производство обмотки. Такие же комплекты изоляции собираются для бандажировки якорей и многих других операций.

## СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ТРУДА

В электротехнической промышленности принята восьмиразрядная тарифная сетка.

*Часовой тарифной ставкой* называется оплата за 1 час рабочего данного разряда.

Существует два вида норм: норма времени и норма выработки. Под *технической нормой времени* понимают время, необходимое и достаточное в данных организационно-технических условиях, при современном уровне техники и передовых методах для выполнения какой-нибудь определенной работы.

*Норма выработки* представляет величину, обратную норме времени. Это — количество изделий, подлежащих изготовлению за единицу времени, например за час или смену.

Техническое нормирование занимается изучением затрат рабочего времени на производстве с целью изжития его потерь, а также с целью установления продолжительности времени выполнения отдельных работ. Техническое нормирование необходимо для планирования производства, правильной организации труда, правильной организации заработной платы, так как наиболее распространенный и лучший вид заработной платы — *индивидуальная сдельная заработная плата*, основан на технических нормах времени.

В социалистическом обществе величина заработка каждого рабочего при сдельной оплате труда находится в прямой зависимости от количества и качества его работы.

Разновидностями сдельной оплаты являются:



*Прямая сдельная система* зар...ной платы, при которой каждая единица выработанной пр...укции оплачивается по одинаковым расценкам, независимо от степени выполнения и перевыполнения установленной нормы.

*Сдельно-прогрессивная* система заработной платы, при которой продукция, выполненная сверх нормы, оплачивается по повышенным расценкам.

*Сдельно-премиальная*, при которой прямая сдельная оплата дополняется премиями за определенные показатели (экономия топлива, электроэнергии, снижение брака и т. п.).

## РОЛЬ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО СОРЕВНОВАНИЯ В ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

Основной движущей силой в области организации труда, применении и создании более совершенных инструментов и приспособлений, рационализации технологического процесса, скоростных приемов изготовления деталей является социалистическое соревнование. Оно является выражением новых, более высоких технических норм, представляет собой образец высокой производительности труда.

История развития социалистического соревнования в нашей стране является ярким подтверждением глубокой научной обоснованности ленинского учения о социалистическом соревновании, как созидательной, творческой, движущей силе и неиссякаемом источнике развития советского общества.

Наряду с индивидуальными обязательствами и договорами по соревнованию между отдельными рабочими и группами рабочих и служащих на фабриках и заводах, в шахтах, рудниках и на транспорте развернулось соревнование по профессиям. Оно повысило активность рабочих масс в деле улучшения организации труда, способствовало повышению квалификации рабочих и росту производительности их труда.

Важным условием соревнования в промышленности явилось повышение качества продукции. На многих предприятиях развилось соревнование на звание отличников по качеству, в которое включаются отдельные рабочие и бригада рабочих, мастера, инженеры и техники, технологи и конструкторы заводов.

Большую роль в развитии социалистического соревнования играют комсомольско-молодежные бригады, которые явились школой производственного воспитания молодежи, коллективной формой освоения передового производственного опыта.

Основной базой социалистического соревнования является широкий обмен опытом работы передовиков, повышение технической грамотности на курсах, в технических кружках, школах, на семинарах и путем чтения технической литературы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

## ОПЕЧАТКИ

| Страница | Строка | Напечатано | Следует читать |
|---|---|---|---|
| 124 | 13-я, 16-я сверху | $z$ | $r$ |
| 193 | 12-я снизу | $w = 1{,}2\cdot \frac{G_n(D-h_n)}{d^2\cdot 3000}\cdot\left(\frac{h_{макс}}{1000}\right)^2$ | $w = 1{,}2\cdot \frac{G_n(D-h_n)}{d^2\cdot 3000}\cdot\left(\frac{n_{макс}}{1000}\right)^2$ |
| 205 | 11-я снизу | на 1-й паз | на один паз |
| 207 | 23-я сверху | 30×6=240 | 30×8=240 |
| 218 | таблица, 1-я графа справа, 2-я снизу | 16н — 10в — 4н — 22н | 16н — 10в — 4н — 22в |

Зак. 808.


Николай Владимирович Виноградов

ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

* * *

Научный редактор Клоков Б. К.

Редактор А. Л. Башкович

Корректор Л. Д. Шахбазова

Технический редактор А. М. Токер

А08414. Сдано в набор 10/VI 1958 г. Подп. к печ. 26/VIII 1958 г.

Формат бум. 60×92/16 — 19,5 В 1 п. л. 40 000 зн. Уч.-изд. л. 19,5

Уч. № 81/3688 Тираж 50 000 Цена 6 р. 85 к.

Тип. Трудрезервиздата. Москва, Хохловский пер., 7. Зак. 808